

# Masterarbeit

Zum Erlangen des Grades eines Masters of Engineering des Studienganges Maschinenbau, Mechatronik und Physiktechnik im Fachbereich Ingenieur und Naturwissenschaften der Hochschule Merseburg.

## Thema:

Entwicklung eines automatisierten Partikelinjektors für Vakuumkammern zur Anwendung auf der Internationalen Raumstation im Weltraumlabor Ekoplasma

## Vorgelegt von:

Herrn Heiko Steinfeld  
geb. am 15.05.1986

## Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Achim Merklinger  
M.Sc. Alexander Börngen (DLR)



## Abstract

Die Arbeitsgruppe Komplexe Plasmen des Instituts für Materialphysik im Weltraum entwickelt zum Zeitpunkt dieser Arbeit ein neues Labor mit dem Namen Ekoplasma. Dieses Labor ist der Nachfolger von PK-4 und soll auf der Internationalen Raumstation eingesetzt werden. Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit der Anpassung eines Partikelinjektionssystems für das Herzstück des Experiments, die Zyflexkammer, in der komplexe Plasmen untersucht werden sollen. Hierfür wird im ersten Teil der Arbeit das aktuell verwendete System analysiert und benötigte Veränderungen sowie die gegebenen Kriterien erfasst. Dies bietet im nächsten Abschnitt die Grundlage für die Entwicklung unterschiedlicher Dispensorkonzepte, welche auf die verschiedenen Anforderungen eingehen. Auf Basis dieser Konzepte wird daraufhin ein neuer Dispensor konstruiert, der den gegebenen Spezifikationen entspricht. Zudem wird eine bauliche Anpassung der aktuellen Dispensoren an die geometrischen Bedingungen der neuen Kammer vorgenommen, da diese als bewährtes System zusammen mit dem neuen Dispensor zum Einsatz kommen sollen. Der letzte Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Durchführung verschiedener Versuche, um die Kennwerte zur Ansteuerung der Dispensoren zu ermitteln und die Grundlagen für die weitere Detailentwicklung zu schaffen.

The German Aerospace Center (DLR) Complex Plasma research group inside the Institute of Material Physics in Space is currently developing the new plasma crystal laboratory, Ekoplasma. This new facility is the successor of the PK-4 laboratory and will be used on the ISS. This Master thesis deals with the adjustment of the particle dispensers for the Zyflex plasma chamber to examine complex plasma. In the first part of the thesis, the current dispenser system is analyzed and the necessary modifications and edge conditions are gathered. This provides the basis for the second part which focusses on the development of the dispenser system to meet future experimental requirements. Then a new dispenser is designed which meets the given specifications. Furthermore, necessary fitments for the old dispensers are made, so that their established and proven system can be applied to the Zyflex chamber, in addition to the new dispenser. The last part of this thesis is devoted to the conduction of different experiments, to determine the characteristic values for actuating the dispensers and to lay the groundwork for a more specific development in the future.

## Inhaltsverzeichnis

Abstract .....	III
Inhaltsverzeichnis .....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Einheitenverzeichnis.....	VIII
Glossar .....	1
Plasma .....	1
Induktivität.....	1
Archimedische Schraube .....	1
Vakuumverbindung .....	1
Peristaltik .....	2
Inkremental- und Absolutwertencoder.....	2
Orthozyklische Wicklung .....	3
Hochvakuumtauglichkeit .....	3
1.    Einleitung.....	4
1.1.    Ausgangssituation .....	4
1.2.    Strukturierung der Arbeit.....	4
1.3.    Zielsetzung .....	5
2.    Grundlagen.....	6
2.1.    Komplexe Plasmen.....	6
2.2.    Bisherige Verwendung der Dispensoren .....	6
2.3.    PK-3 Plus.....	6
2.4.    PK-4.....	7
2.5.    Ekoplasma .....	8
2.6.    Zyflex-Kammer .....	9
3.    Analyse des derzeit verwendeten Systems .....	11
3.1.    Aufbau der Dispensoren .....	11
3.2.    Spule und Eisenkern.....	12
3.3.    Rückstellfeder .....	13
3.4.    Gehäuse .....	13
3.5.    Anschluss an die Kammer .....	13
3.6.    Reservoir .....	13
3.7.    Partikelsieb .....	14
3.8.    Partikel.....	15
4.    Verbesserungen des neuen Systems.....	16
4.1.    Vergrößerung der Partikelmenge.....	16

## Inhaltsverzeichnis

4.2.	Alternativer Antrieb des Systems zur Verringerung von Magnetfeldern.....	16
4.3.	Verwendung unterschiedlicher Partikelgrößen .....	17
4.4.	Wichtung der Verbesserungen .....	17
5.	Konstruktive Bedingungen.....	18
5.1.	Kriterien .....	18
5.2.	Wichtung der Konstruktiven Bedingungen .....	20
6.	Varianten für ein neues System .....	21
6.1.	Dispensor mit wiederbefüllbarem Reservoir .....	21
6.1.1.	Kombination aus archimedischer Schraube und Peristaltikpumpe .....	22
6.1.2.	Dispensor mit Exzentrerschneckenpumpe .....	25
6.2.	Alternatives Antriebskonzept .....	27
6.3.	Verwendung verschiedener Partikelgrößen .....	30
6.4.	Dispensor mit austauschbaren Reservoirs .....	31
6.5.	Vergleich der Varianten .....	33
6.5.1.	Aufgeteiltes Reservoir zur Verwendung verschiedener Partikelgrößen.....	34
6.5.2.	Piezomotor als alternativer Antrieb .....	34
6.5.3.	Dispensoren mit Magazin zur Vergrößerung der Partikelmenge .....	34
6.6.	Auswahl einer Variante .....	37
6.6.1.	Zusammenfassung der Dispensorkonzepte .....	37
6.6.2.	Entscheidung über das zu verfolgende Dispensorkonzept.....	39
7.	Konstruktion des Dispensors.....	40
7.1.	Kopplung zwischen Reservoir und Antrieb .....	40
7.1.1.	Kopplung mittels Einrastelementen .....	40
7.1.2.	Kopplung mittels Bajonettverschluss .....	43
7.1.3.	Entscheidung zur Kopplung zwischen Reservoir und Antrieb .....	45
7.2.	Konstruktion des Antriebes .....	46
7.2.1.	Rückstellfedern.....	47
7.2.2.	Eisenkern .....	49
7.2.3.	Antriebsspule.....	49
7.2.3.1.	Ermittlung der magnetische Anziehungskraft .....	50
7.2.3.2.	Bestimmung der Spulendimensionen.....	53
7.2.3.3.	Auswahl der Spulenparameter .....	54
7.3.	Magazin .....	58
7.4.	Zusätzliche Antriebe .....	59
7.5.	Gehäuse .....	62
8.	Anpassung der vorhandenen Dispensoren an die neue Kammergeometrie und Vergrößerung der Reservoirs .....	64
8.1.	Dispensoranpassung an die Kammergeometrie .....	64
8.2.	Vergrößerung der Reservoirs .....	66

8.2.1. Funktionsprüfung des vergrößerten Reservoirs .....	66
8.2.2. Versuchsaufbau.....	67
8.2.3. Versuchsauswertung .....	68
9. Versuche zu der Kinematik und der Ansteuerung der vorhandenen Dispensoren	70
9.1. Bewegungseigenschaften im Betrieb.....	70
9.1.1. Versuchsaufbau.....	70
9.1.2. Versuchsauswertung .....	71
9.2. Ermittlung der Kennwerte zur Ansteuerung der Dispensoren .....	71
9.2.1. Untersuchung der Frequenz mittels High-Speed-Aufnahmen .....	71
9.2.2. Untersuchung der Frequenz mittels Spannungs- und Stromverlauf .....	74
10. Ausblick .....	81
11. Fazit und Zusammenfassung.....	82
11.1. Zusammenfassung.....	82
11.2. Fazit.....	83
Literaturverzeichnis .....	84
Selbstständigkeitserklärung.....	85
Abbildungsverzeichnis .....	86
Tabellenverzeichnis .....	89

## Abkürzungsverzeichnis

**TABELLE 1 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

Abkürzung	Name
ISS	International Space Station
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
ISO	International Organization for Standardization
RF	Radio Frequenz

## Einheitenverzeichnis

TABELLE 2 EINHEITENVERZEICHNIS

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
<b>F</b>	Newton [N]	Kraft
<b>t</b>	Sekunde [s]	Zeit
<b>-</b>	Prozent [%]	Prozent
<b>U</b>	Volt [V]	Elektrische Spannung
<b>I</b>	Ampere [A]	Elektrischer Strom
<b>R</b>	Ohm [ $\Omega$ ]	Elektrischer Widerstand
<b>M</b>	Gramm [g]	Masse
<b>s</b>	Meter [m]	Weg
<b>f</b>	Hertz [Hz]	Frequenz
<b>a</b>	[ $\text{m/s}^2$ ]	Beschleunigung
<b>H</b>	[A/m]	Magnetische Feldstärke
<b>B</b>	Tesla [T]	Magnetische Flussdichte
<b><math>\rho</math></b>	[ $\text{Kg/m}^3$ ]	Dichte
<b>V</b>	[ $\text{m}^3$ ]	Volumen
<b>c</b>	[N/m]	Federkonstante
<b>W</b>	[Nm]	Arbeit/Energie
<b><math>\theta</math></b>	Ampere [A]	Magnetische Durchflutung



## Glossar

## Glossar

### Plasma

Bei Plasmen handelt es sich um ionisierte Gase. Das bedeutet, dass diese Gase genügend freie Ladungsträger (Ionen und Elektronen) besitzen um elektrisch leitfähig zu sein. Der Ionisationsgrad kann dabei von 1% bis 100% variieren. Ein Plasma kann technisch erzeugt werden aber auch natürlich vorkommen. So befinden sich beispielsweise die Sonne und auch andere Sterne in einen Plasmazustand. Unterschieden werden können Plasmen in Niederdruck-, Atmosphärendruck- und Hochdruckplasmen.

### Induktivität

Um einen stromdurchflossenen Leiter tritt immer ein elektromagnetisches Feld auf. Diese Eigenschaft wird als Induktivität bezeichnet und findet vor allem bei Spulen Verwendung.

### Archimedische Schraube

Bei der archimedischen Schraube handelt es sich um ein Transportsystem, welches in der Antike erfunden wurde. Die Erfindung selbst wird dem griechischen Mathematiker, Physiker und Ingenieur Archimedes von Syrakus zugeschrieben. Hauptkomponenten des Systems sind ein schräg stehendes Rohr und eine sich darin befindende Schraube, welche sich um ihre eigene Achse dreht. Durch die schräge Lage des Rohrs und der Ausrichtung der Schraubenwindung werden Kammern gebildet über die Wasser aber auch andere Flüssigkeiten nach oben befördert werden können. Die archimedische Schraube ist eine Sonderanwendung der so genannten Schneckenförderer. Nachteil dieser Tatsache ist, dass Medien nur horizontal oder schräg gefördert werden können. Neuere Schneckenpumpen sind aber auch in der Lage Stoffe senkrecht oder auch in jede andere Ausrichtung zu transportieren.

### Vakuumverbindung

Zur lösbaren Verbindung von Vakuumgefäßen gibt es mehrere genormte Arten von Flanschen. Die kleinste Form ist dabei die ISO-KF deren Abmessungen in der DIN

28403 und der ISO 2861/1 festgelegt sind<sup>1</sup>. Diese Verbindung ist meist mit Schnellspannverschlüssen versehen.

Die nächstgrößere Variante sind die ISO-K Verbindungen. Ihre Größen sind in der DIN 28404 festgelegt.<sup>2</sup>

Die größten eingesetzten Flansche sind die CF-Flansche mit Außendurchmessern von 34mm bis 253,3mm. Die verschiedenen Größen sind hier nach der ISO 3669:2017 genormt<sup>3</sup>.

## Peristaltik

Peristaltik ist ein Förderprinzip, um ein Medium durch einen Schlauch oder einen ähnliches Gebilde zu transportieren. Das Prinzip beruht darauf, dass ein Schlauch punktuell zusammengedrückt wird und man diesen Druckpunkt entlang des Schlauchs wandern lässt. Dieses Prinzip wird beispielsweise im Alltag verwendet, um eine Zahnpasta Tube zu leeren. In der Technik kommt dieses Prinzip zum Beispiel bei Schlauch- oder auch Peristaltikpumpe zur Anwendung.

## Inkremental- und Absolutwertencoder

Bei diesen Encodern handelt es sich um Messgeräte zur Bestimmung von Längen- und Winkelabständen. Inkrementalencoder geben hierzu, je nach zurückgelegter Strecke, eine bestimmte Anzahl von Impulsen ab. Die Auswertung erfolgt nun durch die Zählung dieser Impulse. Eine genaue Bestimmung der Position verlangt bei diesem System eine Referenzfahrt zur Nullpunktbestimmung, die als Abstandsreferenz dient.

Absolutwertencoder oder auch Absolutwertgeber hingegen besitzen eine eindeutige Codierung für jeden Messpunkt. Hierdurch ist dieses System in der Lage auch ohne Referenzfahrt seine Lage zu bestimmen.

---

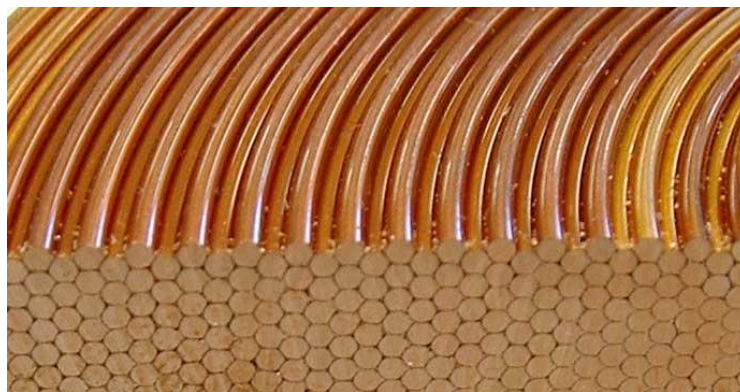
<sup>1</sup> Jobst H. Kerspe und 7 Mitautoren: *Vakuumtechnik in der industriellen Praxis* (= *Kontakt & Studium*. Bd. 204). 3., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. expert verlag, Renningen 2003

<sup>2</sup> Jobst H. Kerspe und 7 Mitautoren: *Vakuumtechnik in der industriellen Praxis* (= *Kontakt & Studium*. Bd. 204). 3., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. expert verlag, Renningen 2003

<sup>3</sup> International Organization for Standardisation (Hrsg.): *ISO 3669:2017 - Vacuum technology - Bakeable flanges - Dimensions of knife-edge flanges*. August 2017

### Orthozyklische Wicklung

Für Spulen gibt es verschiedene Arten des Wicklungsaufbaus, wie zum Beispiel wilde oder schraubenförmige Wicklungen. Dies sind gängige Fertigungsmethoden in der Industrie, da sie schnell und automatisiert hergestellt werden können. Die orthozyklische Wicklung hingegen ist sehr kompakt und bietet durch ihren Aufbau, bei der sich jede Windung einer oberen Lage im Tal einer unteren Lage befindet, ein vergleichsweise hohes Magnetfeld bei gleichzeitig geringem Platzbedarf. Ihre Herstellung ist jedoch zeitintensiver, weshalb diese Form der Wicklung zumeist nicht für die Massenproduktion verwendet wird.



**ABBILDUNG 1 SCHNITT DURCH EINE ORTHOZYKLISCHE SPULENWICKLUNG<sup>4</sup>**

### Hochvakuumtauglichkeit

Bei der Konstruktion von hochvakuumtauglichen Geräten ist darauf zu achten, dass keine schwer zu evakuierenden Hohlräume entstehen und keine ausgasenden Komponenten verwendet werden. Hintergrund hierfür ist, dass Ausgasungen, beispielsweise von Polymeren, zu einer Verunreinigung des Vakuums führen würden. Hohlräume hingegen, die nur durch sehr schmale Kanäle mit dem restlichen System verbunden sind, können dazu führen, dass für die Erzeugung eines Vakuums eine unangemessen lange Zeit benötigt wird. Hochvakuumtaugliche Geräte sind deshalb so konstruiert, dass diese Problematiken vermieden werden.

---

<sup>4</sup> <http://www.wijdeven.com>

# 1. Einleitung

## 1.1. Ausgangssituation

Zur Erforschung komplexer Plasmen befindet sich derzeit das Weltraumlabor PK-4 auf der ISS. Dieses ist durch die Zusammenarbeit zwischen der ESA, dem DLR, dem Max-Planck-Institut und der russischen Akademie der Wissenschaften entstanden und untersucht das Verhalten von Partikeln in Plasmen. Das Labor soll in den nächsten Jahren durch seinen Nachfolger, mit dem Namen Ekoplasma, ersetzt werden. Das zentrale Element dieses neuen Labors ist die Zyflex-Kammer. Dabei handelt es sich um einen unter Vakuum stehenden Raum, der für Versuche mit Argon Gas gefüllt wird. Das Gas wird dabei mithilfe von zwei Elektroden gezündet, sodass ein Plasma entsteht. Für Experimente werden diesem Plasma anschließend mikrometergroße Teilchen aus Melanin-Formaldehyd hinzugefügt. Dies geschieht mittels der Teilchendispensoren, mit welchen sich diese Arbeit beschäftigt. Hierbei ist eine Neukonstruktion vorgesehen, die sich an die neue Kammergeometrie orientiert und einen größeren Vorrat an Partikeln zur Verfügung stellt.

## 1.2. Strukturierung der Arbeit

Der erste Abschnitt besteht aus der Einleitung, die eine Übersicht über die Arbeit vermitteln soll.

Im zweiten Abschnitt wird auf die Grundlagen und die Hintergründe des zu konstruierenden Systems eingegangen. Hierzu werden verschiedene Vorgängerlabore betrachtet in denen der bisher verwendete Dispensor eingesetzt wurde. Zudem wird ein kurzer Überblick über das sich derzeit in Entwicklung befindliche Labor Ekoplasma und dessen zentraler Einheit, der Zyflex-Kammer, gegeben.

Abschnitt drei behandelt und analysiert die derzeit verwendeten Dispensoren. Hierbei werden die technischen Daten der einzelnen Komponenten, sowie der verwendeten Partikel ermittelt.

Im vierten Abschnitt werden als Grundlage für die Neukonstruktion die verschiedenen Anforderungen an das neue System ermittelt und gewichtet.

## Einleitung

Der Abschnitt fünf beschäftigt sich mit den Kriterien die für die Konstruktion des neuen Systems bestimmend sind. Diese Kriterien werden im Einzelnen beschrieben und entsprechend ihrer Bedeutung für die Konstruktion gewichtet.

Im Abschnitt sechs werden auf der Grundlage von Abschnitt vier und fünf verschiedene Konstruktionskonzepte vorgestellt, die die Anforderungen an den neuen Dispensor umsetzen sollen. Die einzelnen Konzepte werden dabei auf ihre Vor- und Nachteile überprüft und es wird entschieden, welches der Konzepte für Konstruktion weiter verfolgt wird.

Abschnitt sieben besteht aus der Erstellung der konstruktiven Grundlagen des unter Abschnitt sechs ausgewählten Konzepts. Hierbei werden die einzelnen Komponenten des neuen Dispensors betrachtet und konstruktive Randbedingungen bzw. Dimensionierungen für diese erstellt.

Da die Fertigung des neuen Dispensors einen längeren Zeitraum in Anspruch nimmt, wird in Abschnitt acht eine zusätzliche, leicht umsetzbare Lösung vorgestellt, bei der die Reservoirgröße eines derzeit verwendeten Dispensors verdoppelt wird. Zudem wird eine konstruktive Anpassung an die neue Kammergeometrie vorgenommen.

Der neunte Abschnitt beschäftigt sich mit Versuchen die kinematischen Eigenschaften der vorhandenen Dispensoren untersuchen und Grenzwerte für deren Ansteuerung festlegen.

Im zehnten Abschnitt wird ein Ausblick über die noch bestehenden Aufgaben und Arbeiten gegeben, welche nötig sind um die Fertigung des neuen Dispensors abzuschließen.

Abschnitt elf befasst sich mit dem Fazit und fasst noch einmal die erworbenen Erkenntnisse und die ausgeführten Arbeiten zusammen.

### 1.3. Zielsetzung

- Analyse der technischen Umsetzung der derzeit verwendeten Injektoren
- Erarbeiten eines neuen bzw. Verbesserung des alten Systems
- Konstruktion des Systems
- Technische Dokumentation
- Funktionstest mittels Versuchen

## 2. Grundlagen

### 2.1. Komplexe Plasmen

Komplexe Plasmen treten in der Natur beispielsweise in den Saturnringen auf. Sie können aber auch im Labor erzeugt werden. Sie entstehen, wenn im Plasma neben neutralem Gas auch Staubteilchen enthalten sind. Unter geeigneten Bedingungen - abhängig von Feldstärke, Gasdruck und Partikeldichte - können komplexe Plasmen gasförmige, flüssige oder kristalline Strukturen ausbilden. Diese Entdeckung gelang 1994 und stand im Gegensatz zu der bis dahin geltenden Lehrmeinung vom Plasma als ungeordnetstem Zustand der Materie. Es handelt sich um ein System, in dem Vorgänge wegen der vergleichsweise hohen Partikelmasse langsam und deshalb gut beobachtbar ablaufen. Die Teilchenpositionen können mit einfachen Mikroskop-Techniken verfolgt werden. Untersuchungen physikalischer Vorgänge sind so auf der fundamentalsten Ebene - dem Bewegungslevel (Kinetik) einzelner Staubteilchen - möglich.<sup>5</sup>

### 2.2. Bisherige Verwendung der Dispensoren

Die derzeit verwendeten Dispensoren wurden im Jahr 2000 für das Labor PK-3 Plus entwickelt und auch für dessen Nachfolger, das PK4 verwendet. Außerdem sind sie derzeit auch für den Parabelflugaufbau der Arbeitsgruppe „Komplexe Plasmen“ des Instituts für Materialphysik im Weltraum im Einsatz.

### 2.3. PK-3 Plus

Das Labor PK-3 Plus war ein deutsch-russisches Gemeinschaftsprojekt, welches im Dezember 2005 zur Internationalen Raumstation gebracht wurde. Im Januar 2006 ging es zum ersten Mal in Betrieb. Zeitgleich verbleib ein zweites Modell des Labors, welches zuvor für Parabelflugtest genutzt wurde, im Max Plank Institut in München.

---

<sup>5</sup> <http://complex-plasmas.dlr.de/index.php/pk-4.html>



### 2.4. PK-4

Das Labor PK-4 ist das Nachfolgermodell von PK-3 Plus. Es wurde im Oktober 2014 zur ISS gebracht und soll dort für mindestens vier Jahre aktiv sein. Kernstück dieses Labors ist eine aus Glas bestehende zylindrische Experimentkammer mit einem Durchmesser von 30 mm. In dieser wird das Plasma erzeugt und die Partikel hinzugegeben. Zur Partikel- und Plasmadiagnostik dienen drei Kameras und ein Spektrometer. Zur Beleuchtung dient ein Laser an der Stirnseite der Kammer. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen PK-4. Zu erkennen sind hier auch zwei der verbauten Dispensoren.

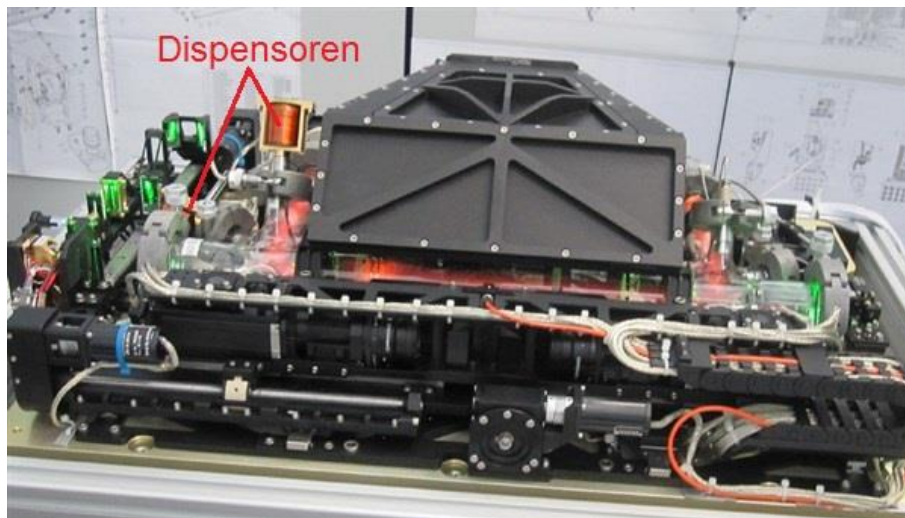


ABBILDUNG 2 PK-4<sup>6</sup>

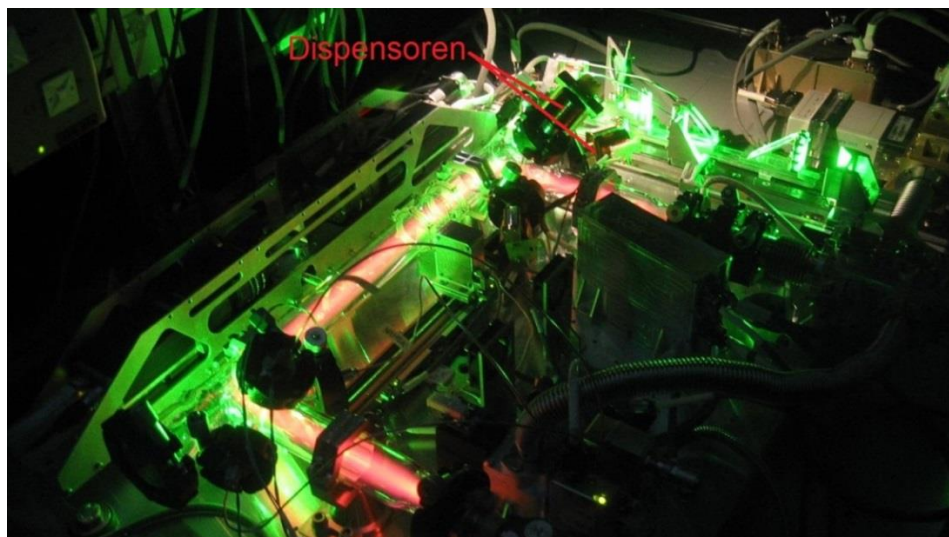


ABBILDUNG 3 PK-4 IM BETRIEB<sup>7</sup>

<sup>6</sup> <http://complex-plasmas.dlr.de/index.php/pk-4.html>

<sup>7</sup> [http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151\\_read-11936/#/gallery/16986](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-11936/#/gallery/16986)

## 2.5. Ekoplasma

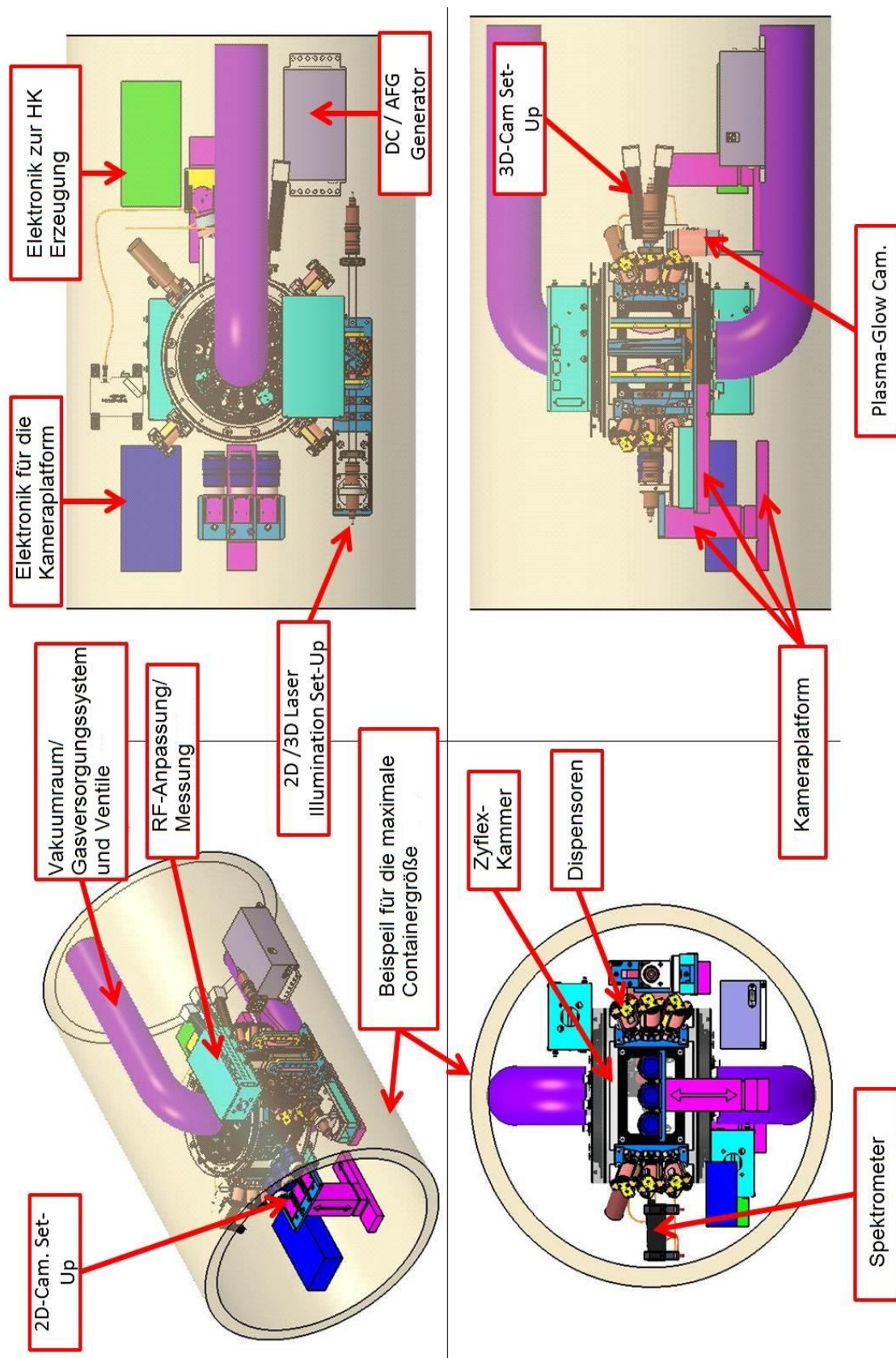
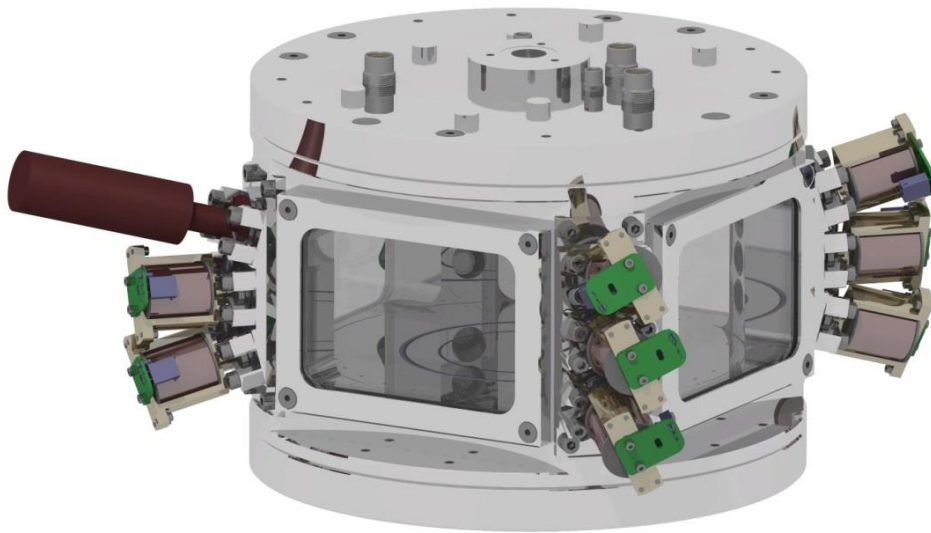


ABBILDUNG 4 CAD-KONZEPT DES LABORS EKOPLASMA



Auf Abbildung 4 ist ein CAD-Modell des neuen Labors Ekoplasma dargestellt. Die zentrale Komponente des Labors ist die unter Abschnitt 2.6 beschriebene Zyflex-Kammer. In dieser wird das für die Experimente benötigte Plasma erzeugt, welches mit den für die Untersuchungen benötigten Partikeln versetzt wird. Zum Einbringen der Partikel sind in dem Konstruktions-Modell des Labors elf Dispensoren vorgesehen. Die finale Anzahl ist jedoch noch nicht festgelegt, da an den Vakuumanschlüssen auch andere Komponenten, beispielsweise Messinstrumente, angeschlossen werden können. Das Labor selbst soll im Frühjahr 2022 auf die Internationale Raumstation transportiert werden und dort für eine Experimentlaufzeit von fünf Jahren zu Verfügung stehen. Hierbei sind pro Jahr vier Kampagnen geplant, wobei pro Kampagne 5 Versuche angesetzt werden. Jeder Versuch geht dabei 90 Minuten, in dem die Kammer 15-mal mit Teilchen gefüllt wird. Insgesamt soll die Kammer somit 1500-mal gefüllt werden, wofür dementsprechend viele Partikel bereitgestellt werden müssen. Zur Beobachtung der Partikel sind zudem zwei verschiedene Kamera-Setups, sowie ein Spektrometer vorgesehen. Der Bauraum des Labors ist begrenzt durch die Abmessung des Containers, in welchen das Labor installiert wird. Dieser hat einen Durchmesser von 265mm und eine Länge von 915mm.

### 2.6. Zyflex-Kammer



**ABBILDUNG 5 CAD-MODELL DER NEUEN ZYFLEX-KAMMER**

Die Zyflex-Kammer ist eine zylindrische Vakuumkammer. Konstruiert und hergestellt wurde sie in der Werkstatt des Max Planck Instituts für extraterrestrische Physik (Garching, Deutschland). Die Kammer hat einen Durchmesser von 270mm und eine Höhe von 250 mm, bei einem Gewicht von ca. 20 kg. Als Material wurde hauptsächlich Aluminium verwendet. Als optischen Zugang besitzt die Kammer vier Fenster

(hergestellt aus NBK-7 Glas). Zudem sind zwölf Standard KF-Vakuumadapter zum Anschluss von Gas-/Vakuumteilen (z.B. Gas Zu- und Ausfluss der Pumpen) vorgesehen. Die Vakuumflansche dienen zudem auch zur Befestigung von Druckmessgeräten, den elektronischen Anschlüssen der Partikeldispensoren, für HF- und DC-Signale an die Elektroden und für Steuersignale zur Elektrodenbewegung. Die Fenster werden zur Beleuchtung der Partikel durch einen Lasers und zur Betrachtung des hierdurch entstehenden reflektierenden Lichts, mittels einer Kamera verwendet. Zudem kann durch die Fenster das Plasmaglühen überwacht werden. Alle Komponenten wie, Wände, Fenster und Anschlüsse sind für Ultrahochvakuum mit einem Druck von  $<< 10^{-7}$  mbar ausgelegt.<sup>8</sup>

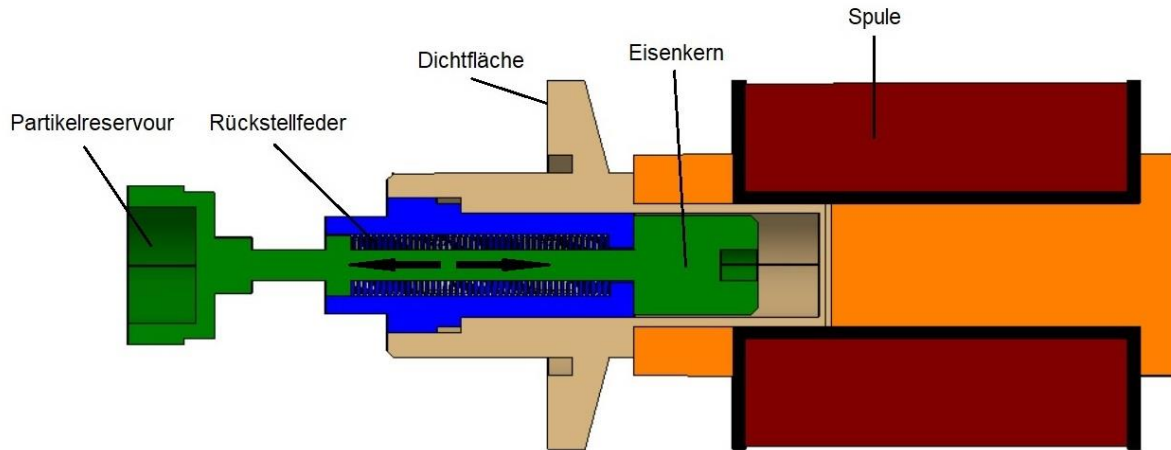
---

<sup>8</sup> PlasmaLab/EkoPlasma: Investigation of complex plasmas in the Zyflexchamber as preparation for the research on the ISS

### 3. Analyse des derzeit verwendeten Systems

## 3. Analyse des derzeit verwendeten Systems

### 3.1. Aufbau der Dispensoren



**ABBILDUNG 6 DISPENSOR IM QUERSCHNITT**

Der derzeit verwendete Dispensor, welcher auf der Abbildung 6 dargestellt ist, besteht im Wesentlichen aus einer Spule, einem Eisenkern, einer Rückstellfeder und einem Partikelreservoir. Der Eisenkern, die Rückstellfeder und das Reservoir befinden sich hierbei innerhalb der Vakuumkammer und sind von außen nicht zugänglich ohne die Kammer zu öffnen. Die Spule und ihre Anschlusselemente hingegen sind außerhalb des Vakuumbereichs angebracht.

Die Grundfunktion des Dispensors gleicht der eines Magnetventils. So wird, sobald ein Strom an die Spule angeschlossen wird, ein elektromagnetisches Feld erzeugt, welches den Eisenkern in die Spule hineinzieht. Wird der Strom unterbrochen, kehrt der Eisenkern durch die Rückstellfeder wieder in seine ursprüngliche Lage zurück. Durch Pulsen der Spannung kann so eine schnelle Hin- und Herbewegung des mit dem Eisenkern verbundenen Partikelreservoirs erzeugt werden. Dieses wiederum ist an der Vorderseite mit einem Sieb bespannt, welches mikrometergroße Poren besitzt. Durch die Hin- und Herbewegung werden durch das Sieb Partikel in die Vakuumkammer eingebracht. Die eingebrachte Menge wird derzeit durch die Anzahl der Impulse gesteuert. Es ist allerdings nicht möglich, eine genaue Partikelanzahl vorzubestimmen, da deren Einstreuverhalten von Versuch zu Versuch variiert. Um Partikel verschiedener Größe für Experimente bereitzustellen, werden mehrere Dispensoren verwendet, die jeweils mit Partikeln einer bestimmten Größe ausgestattet sind.

### 3.2. Spule und Eisenkern

Als Antrieb für den Dispensor dient eine Spule mit Kupferdraht ( $\varnothing=0,4\text{mm}$ ), aufgewickelt auf einem Kunststoffgehäuse. Der Gleichstrom  $I$  der an der Spule anliegt beträgt im Normalfall  $1,6\text{A}$ . Zusammen mit der Windungszahl  $N$  von  $1500$  und den Abmessungen von Spulendurchmesser  $d = 0,03\text{ m}$  und Spulenlänge  $l = 0,03\text{ m}$  lässt sich hiermit das Magnetische Feld  $H$  der Spule nach folgender Formel berechnen:

$$H = \frac{I * N}{\sqrt{l^2 + d^2}} \quad (3.1)$$

$$H = \frac{1,6\text{ A} * 1500}{\sqrt{(0,03\text{m})^2 + (0,03\text{m})^2}} = 37712,36 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Jede Spule besitzt zudem einen ohmschen Widerstand und eine Induktivität. Diese können als Reihenschaltung betrachtet werden. Der ohmsche Widerstand ist dabei abhängig von der elektrischen Leitfähigkeit des Spulendrahtes, dessen Länge und dessen Leiterquerschnitts. Der Widerstand der verschiedenen Dispensoren schwankt dabei zwischen  $14,3\Omega$  bis  $14,6\Omega$ . Die Induktivität  $L$  hingegen kann mit folgender Formel näherungsweise bestimmt werden.

$$L = N^2 * \frac{A * \mu_0 * \mu_R}{l} \quad (3.2)$$

$A$  = Durchmesser der Spule

$\mu_0$  = magnetische Feldkonstante <sup>9</sup>  $\mu_0 = 12,566\ 370\ 614 * 10^{-7}\text{ N} * \text{A}^{-2}$

$\mu_R$  = Permeabilitätszahl

$l$  = Länge der Spule

$N$  = Windungszahl

Die Permeabilitätszahl ist abhängig von dem Kernmaterial der Spule. Da sich dieser im Betrieb allerdings durch die Bewegung des Eisenkerns ändert kann hier kein fester Wert zugeordnet werden, wodurch sich auch die Induktivität ändert. So ist es lediglich möglich einen Wert für die Spule ohne Eisenkern zu bestimmen.  $\mu_R$  wird dabei auf  $1$  gesetzt.

$$L = N^2 * \frac{\pi * 0,03^2\text{m}^2 * 12,566\ 370\ 614 * 10^{-7}\text{Vs}}{4 * 0,03\text{m} * \text{m} * \text{A}} = 0,067 \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = 0,067\text{H}$$

---

<sup>9</sup> *Faltblatt: Die gesetzlichen Einheiten in Deutschland.* Juni 2015, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin, Nationales Metrologieinstitut

### 3. Analyse des derzeit verwendeten Systems

#### 3.3. Rückstellfeder

Es handelt sich hierbei um eine Schraubendruckfeder der Firma Febrotec mit einer Federkonstante  $c$  von 0,675 N/mm. Die Feder selbst besteht aus einer Federstahlliegierung mit der Bezeichnung X10CrNi18-8. Mit einem Hubweg von max. 5mm ergibt sich eine Federkraft von:

$$F = c * x = 0,675 \frac{N}{mm} * 5mm = 3,375N \quad (3.3)$$

#### 3.4. Gehäuse

Das Gehäuse, welches die Feder und den Eisenkern beinhaltet, besteht aus dem Werkstoff 1.4305. dabei handelt es sich um austenitischen 18/10 Cr-Ni-Stahl mit der chemischen Bezeichnung X8CrNiS18-9.

Die Halterung, welche die Spule und die elektrischen Anschlusselemente hält, besteht hingegen aus Reinsteinen, welches mit Gold beschichtet wurde.

#### 3.5. Anschluss an die Kammer

Der Anschluss an die Kammer ist ein ISO-KF-16-Flansch

#### 3.6. Reservoir

Das Reservoir besteht aus einem kleinen Behälter, der durch eine Stange mit dem Eisenkern verbunden ist und die Partikel enthält. Einseitig ist er mit einem Sieb bespannt, durch das die Partikel bei Betrieb in die Kammer gelangen. Befüllt wird das Reservoir im Betrieb nicht nur mit den Partikeln, sondern auch mit Metallkugeln. Diese haben die Aufgabe, die Partikel daran zu hindern miteinander zu verkleben bzw. die Poren des Siebes frei zu halten. Dies geschieht indem die Kugeln während des Betriebes gegen das Sieb schlagen.



**ABBILDUNG 7 RESERVOIR BEFÜLLT MIT KUGELN**



**ABBILDUNG 8 RESERVOIR BEFÜLLT MIT KUGELN UND PARTIKELN**

### 3.7. Partikelsieb

Bei den Partikelsieben handelt es sich um ein Produkt der Firma Precisione-Forming-LLC. Sie bestehen aus Nickel und sind zur Stabilitätssteigerung mit einem zusätzlichen Unterstützungsgitter ausgestattet. Verwendet werden Siebe mit einem Porendurchmesser von 1,6µm bis 12µm.



**ABBILDUNG 9 DISPENSOR MIT PARTIKELSIEB**



**ABBILDUNG 10 PARTIEKELSIEB**

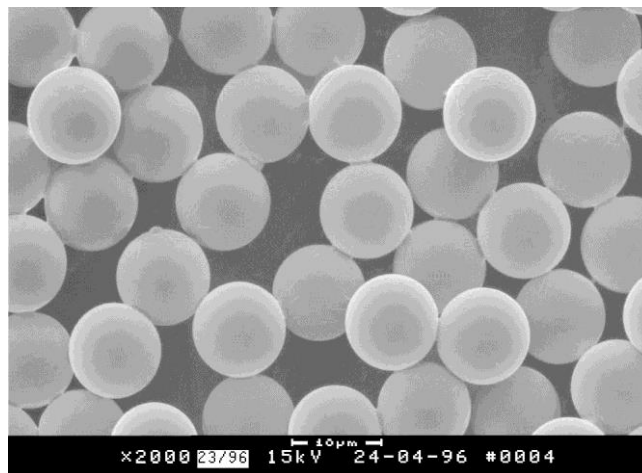
### 3. Analyse des derzeit verwendeten Systems

#### 3.8. Partikel

Bei dem vom Dispensor eingestreuten Stoff handelt es sich um ein Melamine-formaldehyde-Polymer mit der Herstellerbezeichnung MF-Partikel. Bezogen werden diese Partikel von der Firma Micro Particles GmbH. Die chemische Formel für die Partikel lautet  $C_5H_8N_6O$ . In der Konsistenz ähneln sie einem feinen weißen Pulver. Die technisch relevanten Eigenschaften der Partikel sind in Tabelle 3 aufgelistet.

**TABELLE 3 EIGENSCHAFTEN MF-PARTIKEL<sup>10</sup>**

Eigenschaften	MF-Partikel
Dichte	1,51 g/cm <sup>3</sup>
Durchmesser	300nm – 12µm
Partikelform	sphärisch
Porosität	unporös
Temperaturstabilität	Bis 250 °C
Mechanische Festigkeit	robust



**ABBILDUNG 11 REM-AUFNAHME VON MF-PARTIKELN<sup>11</sup>**

<sup>10</sup> <http://microparticles.de/eigenschaften>

<sup>11</sup> <http://microparticles.de/produktpalette>

## 4. Verbesserungen des neuen Systems

Die Neukonstruktion des Systems bietet die Möglichkeit das System nicht nur den Gegebenheiten der neuen Vakuumkammer anzupassen, sondern diesem auch neue Funktionen hinzuzufügen. Letztere sollen im nächsten Abschnitt betrachtet werden.

### 4.1. Vergrößerung der Partikelmenge

Die Anzahl der Partikel bestimmt die Anzahl der Versuche, welche mit dem Labor durchgeführt werden können. Dies resultiert daher, dass sich die Partikelreservoirs in der Vakuumkammer befinden müssen und diese auf der Raumstation nicht geöffnet werden darf. Grund hierfür ist die Tatsache, dass auf der ISS weder Partikel noch Fluide in die Atmosphäre gelangen dürfen, da diese die Besatzung gesundheitlich gefährden bzw. technische Geräte beschädigen können. Deshalb ist das gesamte Labor in einem luftdichten Container untergebracht in dem ein Druck von ca. 800 mBar herrscht. Hieraus ergeben sich zwei Sicherheitsstufen für die Partikel. Zum ersten die Vakuumkammer selbst und zum zweiten die Hülle des Containers. Das Auswechseln oder die Neubefüllung der Dispensoren ist deshalb für die Besatzung der ISS nicht möglich. Ebenfalls können keine Partikel nach einem Versuchsdurchlauf wieder zurück gewonnen werden, weshalb nur die Anzahl an Partikeln für Versuche zur Verfügung stehen, mit denen die Dispensoren auf der Erde befüllt wurden.

Im derzeit auf der ISS verwendeten Labor PK-4 sind insgesamt drei Dispensoren verbaut. Diese verfügen jeweils über ein Partikelreservoir mit einem Volumen von  $470\text{mm}^3$ . Für unterschiedliche Versuche werden unterschiedliche Mengen an Partikeln benötigt, weshalb die genaue Anzahl der durchführbaren Versuche nicht bekannt ist. Aus diesem Grund ist es für das neue Labor „Ekoplasma“ wünschenswert die Anzahl der zur Verfügung stehenden Partikel zu erhöhen. Zudem ist das Volumen der Vakuumkammer größer als das der vorherigen Labore, weshalb ebenfalls ein Bedarf an einer größeren Anzahl von Partikel besteht.

### 4.2. Alternativer Antrieb des Systems zur Verringerung von Magnetfeldern

Durch die derzeit verwendeten Spulen, welche als Antrieb der Dispensoren fungieren, treten bei dessen betrieb Magnetfelder auf, welche sich auf das in der Vakuumkammer befindliche Plasma auswirken können. Diese können Störungen bei den Versuchen verursachen. Da die Dispensoren allerdings in der Regel nicht während der Messungen verwendeten werden, stellen die Magnetfelder der Spule nur in Ausnahmesituationen ein Problem dar.



## 4. Verbesserung des neuen Systems

### 4.3. Verwendung unterschiedlicher Partikelgrößen

Für die verschiedenen Experimente werden Partikel mit unterschiedlichen Durchmessern verwendet. Die Durchmesser reichen dabei von  $1,3\mu\text{m}$  bis  $15,8\mu\text{m}$ . Passend zu den Partikeln werden zudem Siebe mit entsprechender Porengröße verwendet. Da jeder Dispensor nur eine Sorte von Partikeln aufnehmen kann, ist die Anzahl der unterschiedlichen Arten die verwendet werden können, auf die Anzahl der im Labor verbauten Dispensoren beschränkt.

### 4.4. Wichtung der Verbesserungen

**TABELLE 4 WICHTUNG DER VERBESSERUNGEN**

Kriterium	Vergrößerung der Partikelmenge	Verringerung von Magnetfeldern	Verwendung unterschiedlicher Partikelgrößen	Summe
Vergrößerung der Partikelmenge		2	2	4
Verringerung von Magnetfeldern	0		1	1
Verwendung unterschiedlicher Partikelgrößen	0	1		1

Legende:

Spalte höhere Wichtung als Zeile → 0

Gleiche Wichtung → 1

Zeile höhere Wichtung als Spalte → 2

Die Vergrößerung der Partikelmenge hat Vorrang gegenüber den anderen Verbesserungen. Grund hierfür ist, dass die Anzahl der Partikel entscheidend für die Lebensdauer des Labors und die Anzahl der Versuche ist. Die Verringerung der von den Spulen erzeugten elektromagnetischen Feldern und die Verwendung verschiedener Partikelgrößen sind dem untergeordnet, da es durch die Verwendung mehrerer Dispensoren bereits möglich ist unterschiedliche Arten von Partikeln zu verwenden und die, durch die Magnetfeld verursachten Störungen nur in Ausnahmefällen Probleme verursachen können.

## 5. Konstruktive Bedingungen

Unter konstruktiven Bedingungen sollen hier Kriterien betrachtet und gewichtet werden, die für die Konstruktion relevant sind.

### 5.1. Kriterien

#### **Sicherheit**

Die Sicherheit lässt sich in zwei Untergruppen unterteilen. Zum einen soll darauf geachtet werden, dass keine gefährlichen Stoffe oder falsch dimensionierten Komponenten verbaut werden. Beispielsweise können zu klein gewählte Kabeldurchmesser zu Elektrobränden führen. Zum anderen ist es wichtig, auf eine hohe Ausfallsicherheit zu achten. So können Teile, die sich beispielsweise lösen, nicht nur den Dispensor beschädigen, sondern unter Umständen die Funktion der gesamten Kammer beeinträchtigen.

#### **Gewicht**

Das Gewicht des derzeit verwendeten Dispensors beträgt 230g. Da durch neue Funktionalitäten auch zusätzliche Komponenten hinzukommen können (z.B. zusätzliche Aktoren, größere Reservoirs usw.) ist es nicht zwingend nötig dieses Gewicht beizubehalten. Jedoch sollte trotzdem auf eine Leichtbauweise geachtet werden.

#### **Vakuumtauglichkeit**

Da die Dispensoren ein Teil der Vakuumkammer des neuen Labors sind, bestehen an diese gewisse Anforderungen im Bereich der Vakuumtauglichkeit. So ist es erforderlich, dass der Dispensor selbst dicht zu halten ist, da eine Leckage nicht nur die Dispensoren unbrauchbar machen würde, sondern dies zum Ausfall der gesamten Kammer führen könnte. Darüber hinaus müssen alle Komponenten, welche sich innerhalb des Vakuums befinden, für ein Hochvakuum geeignet sein, da es sonst zu technischen Problemen oder Verfälschungen von Versuchsergebnissen kommen kann.

#### **Platzbedarf**

Da das neue Labor selbst in einem abgeschlossenen Container mit eigenem Unterdruck eingebaut wird, ist der gesamte Platzbedarf für das Labor auf die Abmaße die-

## 5. Konstruktive Bedingungen

ses Containers beschränkt. Da das Labor und der Container aber noch nicht final gefertigt wurden gibt es für den zur Verfügung stehenden Platz des neuen Dispensors keine genauen Angaben. Trotzdem sollte der Dispensor möglichst kompakt gehalten werden.

### **Komplexität**

Die Komplexität des Systems ist gering zu halten, da eine Vielzahl von Komponenten zu einer höheren Ausfallwahrscheinlichkeit des gesamten Systems führen kann.

### **Robustheit**

Im System wirken im normalen Betrieb eher kleine Kräfte. So beträgt die Kraft mit der die Teilchen aus dem Dispensor geschossen werden in etwa 3N bis 4N. Trotzdem ist das gesamte Labor einmalig beim Raketenstart schweren Belastungen ausgesetzt. Der Dispensor sollte dementsprechend so konstruiert werden, dass er diesen Belastungen standhalten kann. Zudem sollten alle Teile des Systems auf die Laufzeit des Labors von fünf Jahren ausgelegt werden.

### **Geringe Partikelbelastung**

Da Form und Größe der Partikel einen großen Einfluss auf die Experimente haben, welche mit der Kammer durchgeführt werden sollen ist es wichtig, dass diese so wenig wie möglich vor ihrem Einsatz beschädigt werden.

## 5.2. Wichtung der Konstruktiven Bedingungen

**TABELLE 5 WICHTUNG DER KONSTRUKTIVEN BEDINGUNGEN**

Kriterium	Sicherheit	Gewicht	Vakuum- tauglichkeit	Platzbedarf	Komplexität	Robustheit	Geringe Partikelbelastung	Summe
Sicherheit		2	0	2	2	0	1	7
Gewicht	0		0	1	0	0	0	1
Vakuum- tauglichkeit	2	2		2	2	2	2	12
Platzbedarf	0	1	0		0	0	0	1
Komplexität	0	2	0	2		1	0	5
Robustheit	2	2	0	2	1		1	8
Geringe Partikelbelastung	1	2	0	2	2	1		8

Legende:

Spalte höhere Wichtung als Zeile → 0

Gleiche Wichtung → 1

Zeile höhere Wichtung als Spalte → 2

Die Vakuumtauglichkeit wurde am höchsten bewertet, da eine Leckage zum Funktionsverlust des gesamten Labors führen würde. Die Sicherheit, die Robustheit und die Partikelbelastung sind in etwa gleichwertig zu behandeln. Die Komplexität hingegen ist etwas geringer angesetzt, da durch die Realisierung neuer Funktionen auch die Anzahl der Komponenten zu deren Umsetzung steigt. Das Gewicht und der Platzbedarf haben im Vergleich zu den anderen Kriterien die niedrigste Bewertung. Grund hierfür ist, dass für beide Parameter noch keine genauen Abgrenzungen gegeben sind.

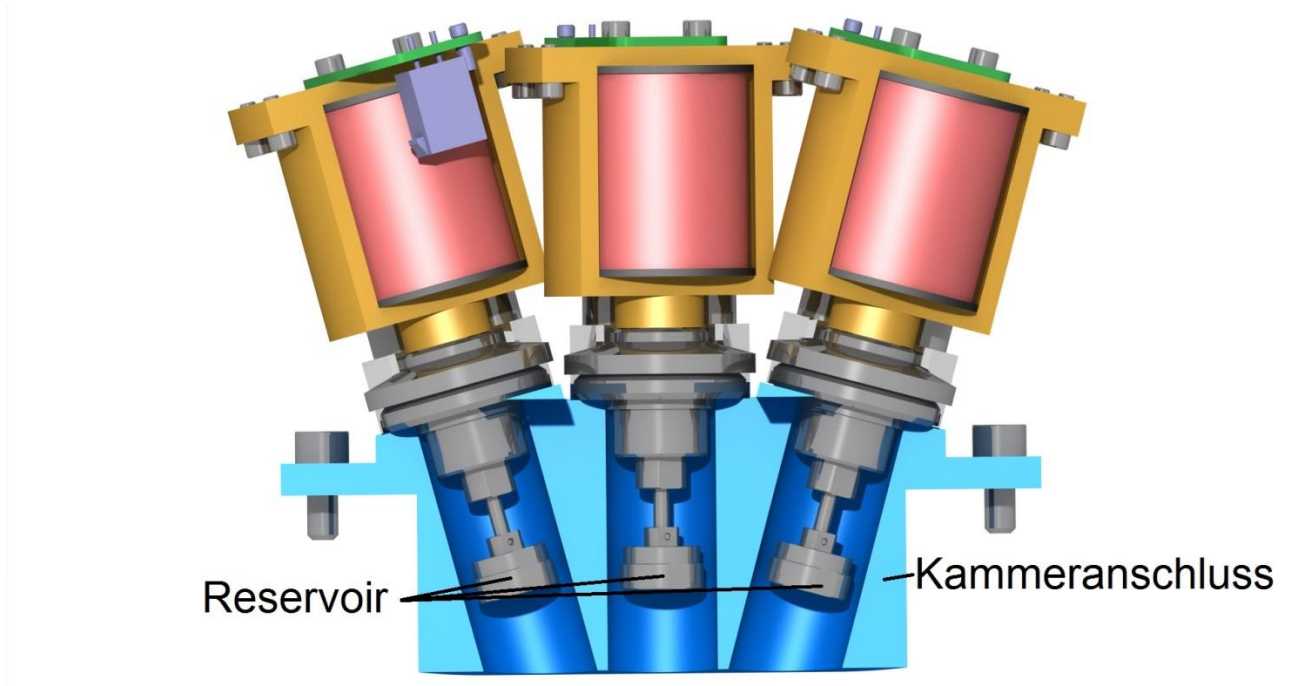
## 6. Varianten für ein neues System

### 6. Varianten für ein neues System

Um die neuen Funktionen zu realisieren wurden verschiedene Konzepte und Lösungsansätze verfolgt, die hier im Nachfolgenden näher erklärt werden.

#### 6.1. Dispensor mit wiederbefüllbarem Reservoir

Auf der Abbildung 12 ist der Kammeranschluss der neuen Zylflex-Kammer mit den derzeit verwendeten Dispensoren im Schnitt zu sehen. Darauf zu erkennen ist, dass für die jeweiligen Reservoirs lediglich ein Kanal mit einem Durchmesser von 17,2 mm zur Verfügung steht. Da der Bauraum in der Kammer aus diesem Grund stark begrenzt ist, entstand die Idee einen größeren Partikelvorrat außerhalb der Kammer zu platzieren. Von dort aus soll es nun möglich sein, bei Bedarf dem Reservoir Partikel zu zuführen.



**ABBILDUNG 12 KAMMERANSCHLUSS FÜR DISPENSOREN**

Zum Transport der Partikel wurden zwei Lösungsansätze entwickelt. Hierbei ist zu beachten, dass das System sowohl in Schwerelosigkeit, sowie unter Hochvakuum funktionieren muss. Zudem dürfen die Partikel in ihrer Beschaffenheit nicht verändert werden, da sonst die Ergebnisse der Versuche negativ beeinflusst werden könnten. Auf mechanische Belastungen sollte deshalb so weit wie möglich verzichtet werden.

### 6.1.1. Kombination aus archimedischer Schraube und Peristaltikpumpe

Als Zuleitung zum Reservoir soll bei diesem Konzept der Stab dienen, welcher das Reservoir mit dem außen liegenden Teil des Dispensors verbindet. Dessen Durchmesser beträgt im bisher verwendeten System 2mm, kann aber ohne mit dem Bau- raum zu kollidieren auf 13,2mm vergrößert werden. Hierdurch wird es möglich den Verbindungsstab aufzubohren, wodurch genügend Platz entsteht, um ein Fördersys- tem zu integrieren. Zwischen Stab und Kanal wird dabei ein Spalt von 2mm verblei- ben. Da die Dispensoren durch die Dichtringe nicht genau zentrisch an den An- schlüssen der Kammer platziert werden können, dient dieser Spalt als Einbautole- ranz.

Als Fördersystem wurde zunächst das Prinzip der archimedischen Schraube betrach- tet. Vorteil dieses Systems ist, dass es mit der Förderschraube nur ein bewegliches Teil beinhaltet, welches in den Verbindungsstab integriert werden muss. Nachteilig ist hingegen, dass eine archimedische Schraube nicht Schwerkraftunabhängig arbeitet. Um dies zu umgehen wurde hierzu eine Kombination aus Förderspindel und Peristal- tikpumpe betrachtet. Diese ist in der Lage verschiedene Medien zu fördern, indem ein Schlauch zusammengedrückt und dieser Druckpunkt entlang des Schlauchs be- wegt wird. Das Funktionsprinzip ist auf Abbildung 13 dargestellt.

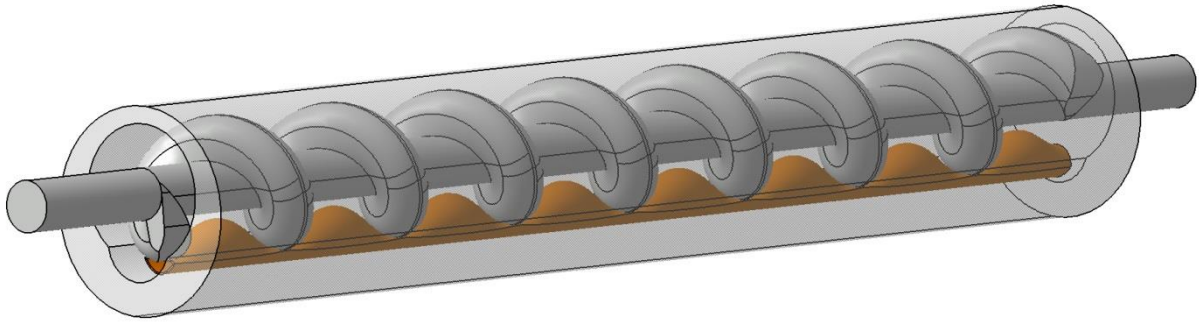


ABBILDUNG 13 FUNKTIONSPRINZIP EINER PERISTALTIKPUMPE<sup>12</sup>

Kombiniert ergibt sich so, dass auf Abbildung 14 gezeigte Spindel-Schlauchsystem.

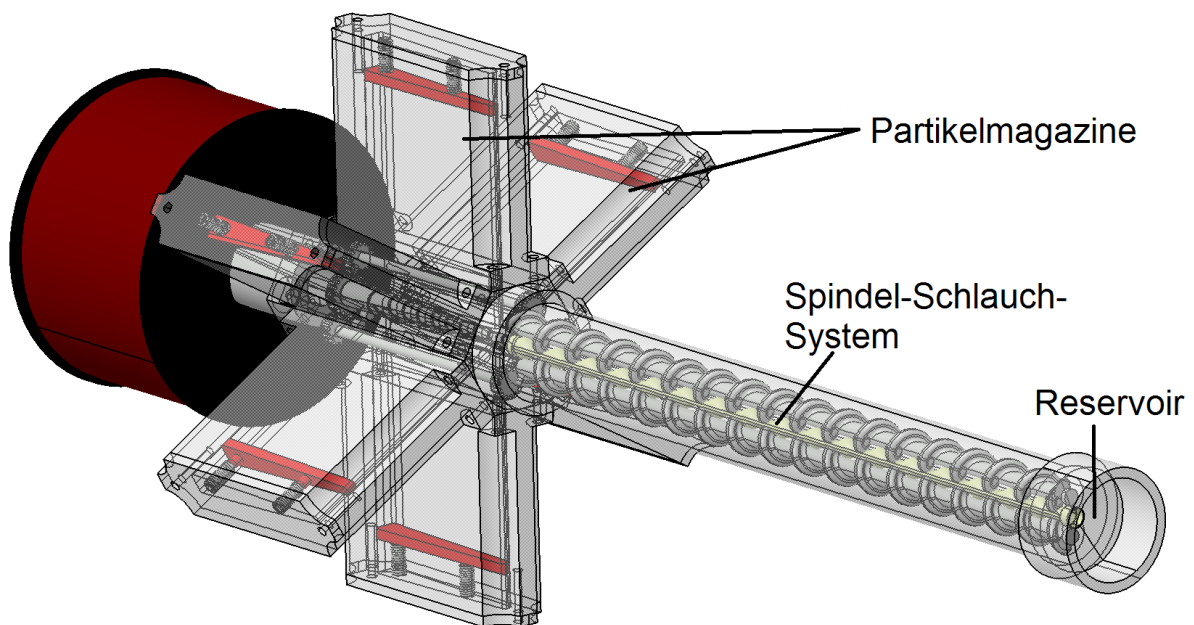
<sup>12</sup> <https://www.steinle-pumpen.de/produkte/schlauchpumpen/>

## 6. Varianten für ein neues System



**ABBILDUNG 14 SPINDEL-SCHLAUCHSYSTEM**

Dadurch, dass die Spindel an verschiedenen Stellen auf den Schlauch drückt entstehen mehrere Kammern, welche durch die Drehbewegung der Spindel in eine bestimmte Richtung bewegt werden können. Dabei wird jeweils der Inhalt der vordersten Kammer bei einer Umdrehung von  $360^\circ$  geleert bzw. die Kammer am hinteren Ende des Systems befüllt. Auf diese Art und Weise ist es möglich die Partikelmenge, welche transportiert wird zu dosieren.

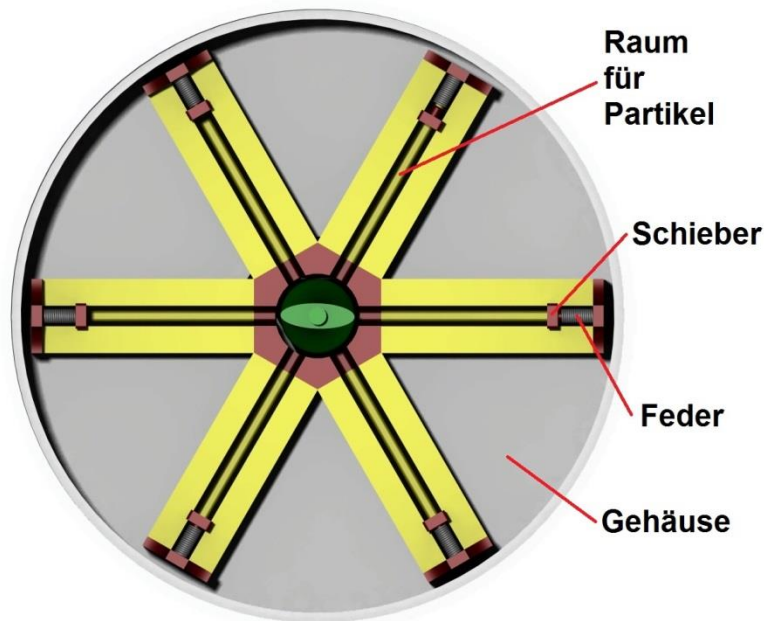


**ABBILDUNG 15 SPINDEL-SCHLAUCHSYSTEM MIT MAGAZIN**

Zur Lagerung der Partikel außerhalb der Kammer sind Partikelmagazine vorgesehen, welche sternförmig angeordnet sind. Das Reservoir, das Spindel-Schlauch-System und die Partikelmagazine bilden dabei, wie auf Abbildung 15 zu sehen ist, eine fest verbundene Einheit, die sich vollständig im Vakuum befindet. Die Einheit ist axial beweglich gelagert und kann von einem Antrieb vor und zurück bewegt werden, um so das Einstreuen der Partikel in die Plasmakammer zu realisieren. Das System ist



hierbei von einem Gehäuse umgeben, welches mit der Vakuumkammer verbunden ist. Auf die Darstellung des Gehäuses wurde auf Abbildung 16, zur besseren Übersicht, verzichtet.



**ABBILDUNG 16 MAGAZIN DES SPINDEL-SCHLAU-SYSTEMS IM SCHNITT**

Die Magazine selbst sind so aufgebaut, dass sich in ihrem Inneren ein rechteckiger Kanal befindet, in welchem die Partikel gelagert werden. Dieser Kanal ist am oberen Ende von einem durch mehrere Federn unter Druck stehenden Schieber abgeschlossen. Durch die sternförmige Anordnung der Magazine drücken diese Schieber die Partikel immer in das Zentrum des Systems, von wo aus sie von dem Spindel-Schlauch-System aufgenommen werden. Dies hat den Vorteil, dass die Partikel unabhängig von der Lage der Magazine immer gefördert werden können, wodurch sie vom Einfluss der Schwerkraft unabhängig sind.

Bei der Konstruktion des CAD-Modells wurde für den Innenraum eines Magazins eine Größe von 2mm x 18mm x 20mm angelegt. Wird dieser mal sechs gerechnet ergibt sich ein Gesamtvolumen von  $4320\text{mm}^3$ , welches zur Aufbewahrung der Partikel zur Verfügung steht. Hierbei nicht mit einbezogen sind die Partikel, welche sich im Spindelschlauchsystem und im Reservoir befinden könnten. Trotzdem ergibt sich eine Vergrößerung der Partikelkapazität, im Gegensatz zu den bisher verwendeten Reservoirs mit einem Fassungsvermögen von  $470\text{mm}^3$ , von ca. 90%.

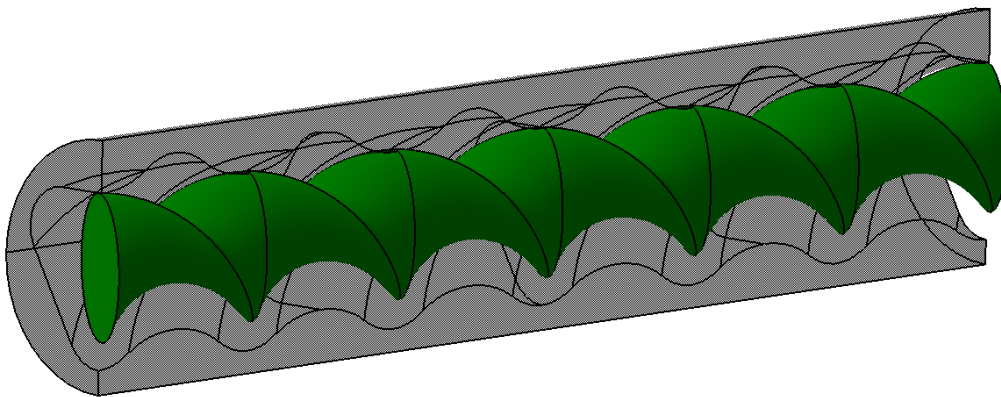


## 6. Varianten für ein neues System

**TABELLE 6 VOR- UND NACHTEILE DES SPINDEL-SCHLAUCH-SYSTEMS**

Vorteil	Nachteil
Ermöglicht größere Menge an Partikel	Partikel werden mechanisch belastet
Verwendung verschiedener Antriebe möglich	Lebensdauer des Peristaltik Schlauchs unter diesen Einsatzbedingungen ist nicht bekannt
	Ein zusätzlicher Antrieb für die Drehbewegung der Spindel ist notwendig

### 6.1.2. Dispensor mit Exzentrerschneckenpumpe

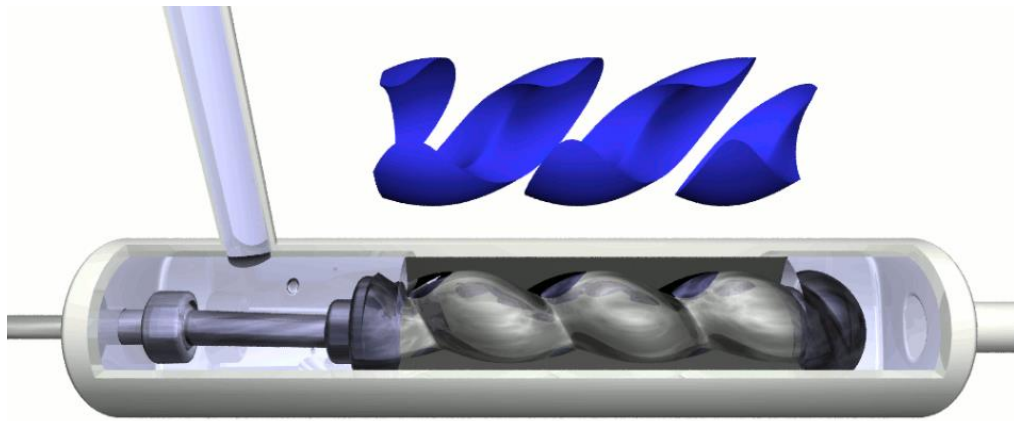


**ABBILDUNG 17 EXZENTERSCHNECKENPUMPE IM SCHNITT**

Die 1930 vom Franzosen René Moineau zum Patent<sup>13</sup> angemeldete Exzentrerschneckenpumpe zählt zu den rotierenden Verdrängungspumpen. Im Wesentlichen besteht sie aus einem Stator und einen Rotor welche beide Gewindegänge unterschiedlicher Steigung besitzen. Der Stator hat dabei einen Gewindegang mehr und besitzt die doppelte Steigungslänge des Rotors. Durch diese Geometrie entstehen Förderräume die sich kontinuierlich in eine Richtung bewegen. Die Dimensionen der Förderräume soll Abbildung 18 näher veranschaulichen.

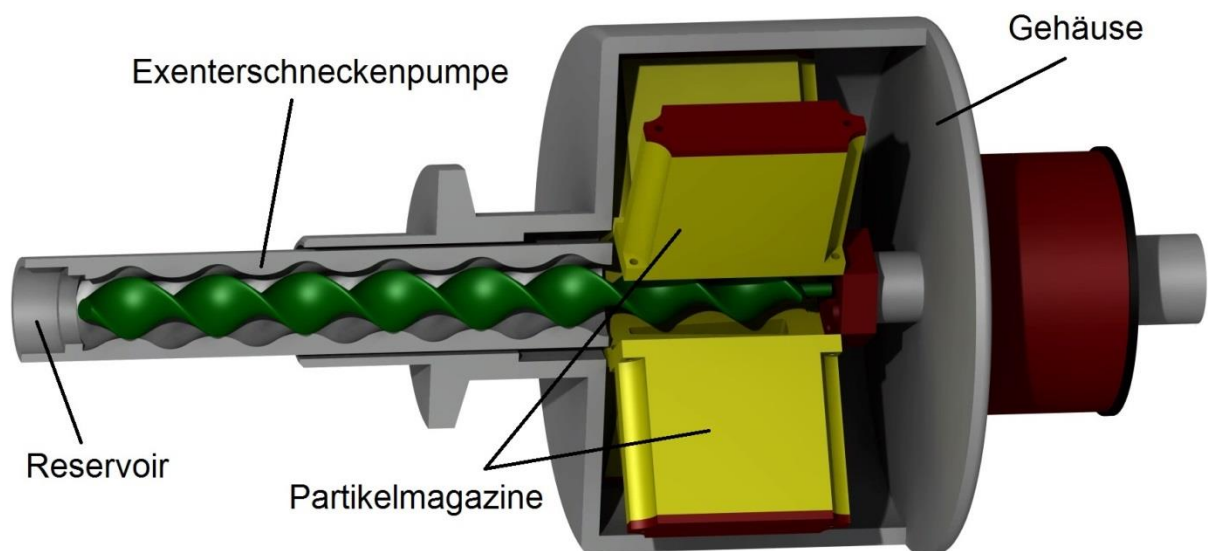
---

<sup>13</sup> Patent US1892217A



**ABBILDUNG 18 FUNKTIONSWEISE EXZENTERSCHNECKENPUMPE<sup>14</sup>**

Die Größe der Förderräume bleibt trotz der Drehung des Rotors immer gleich, wodurch das Material nicht zusammengepresst wird. Dies hat den Vorteil, dass die Partikel weniger belastet werden als durch das unter Abschnitt 6.1.1. beschriebene Spindel-Schlauchsystem. Durch die Abtrennung der Förderräume wird zudem gewährleistet, dass das System lagenunabhängig und somit auch in Schwerelosigkeit funktioniert. Das Volumen eines Förderraums kann zudem durch eine konstruktive Anpassung der Steigung so ausgelegt werden, dass bei einer Drehung des Rotors um 360° das Reservoir nur in einem vorbestimmten Maß gefüllt wird, was eine Dosierung über die Drehzahl möglich macht.



**ABBILDUNG 19 DISPENSOR MIT EXZENTERSCHNECKENPUMPE IM SCHNITT**

Der Aufbau der Magazine ist bei diesen Konzept derselbe wie bei dem unter Abschnitt 6.1.1. beschrieben Dispensorkonzept mit Spindel-Schlauchsystem. Dies ist

<sup>14</sup> Petteri Aimonen, 18.10.2009, Progressive cavity pump animation

## 6. Varianten für ein neues System

auf Abbildung 19 erkennbar. Ebenfalls bilden hierbei das Reservoir, das Fördersystem und die Magazine eine Einheit, die vom Antrieb, zum Einbringen der Partikel in die Kammer, vor und zurück bewegt wird. Umschlossen ist diese Einheit von einem Gehäuse, das mit der Vakuumkammer verbunden ist und somit ebenfalls unter Vakuum steht.

**TABELLE 7 VOR- UND NACHTEILE DER EXZENTERSCHNECKENPUMPE**

Vorteil	Nachteil
Ermöglicht größere Menge an Partikel	Mechanische Belastung der Partikel durch Reibung an den Rotorflanken
Verwendung verschiedener Antriebe möglich	Die Exzentrerschneckenpumpe benötigt einen zusätzlichen Antrieb
Kein Verpressen des Materials bei der Förderung	

### 6.2. Alternatives Antriebskonzept

Der Antrieb hat die Aufgabe das Reservoir entlang einer Geraden vor- und zurückzubewegen. Hierdurch wird den Partikeln, welche sich im Reservoir befinden, ein Impuls gegeben, welcher sie soweit beschleunigt, dass sie das Partikelsieb durchdringen und auf diese Weise in die Vakuumkammer gelangen können. In der aktuell verwendeten Version des Dispensors wird diese Bewegung mithilfe einer Kombination aus einer Spiraldruckfeder und einer Spule realisiert. Hierbei zieht die Spule, sobald ein Strom angelegt wird einen Eisenkern an, welcher mit dem Reservoir verbunden ist. Bei dieser Bewegung wird auch gleichzeitig die Feder gespannt. Sobald die Spule wieder vom Strom getrennt wird, bewegt sich das Reservoir durch die gespannte Feder schnell nach vorn und wird ruckartig an der ursprünglichen Ausgangslage gestoppt. Durch ihre Trägheit werden die Partikel nun im Reservoir gegen das Sieb gedrückt und gelangen so in die Vakuumkammer. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis genügend Partikel für das jeweilige Experiment in der Kammer vorhanden sind.

Da bei dem aktuellen Antrieb lediglich die Magnetfelder der Spule als störend bewertet werden, wurde sich darauf konzentriert einen alternativen Weg zu finden die Feder zu spannen. Das Konzept die Federkraft zu nutzen um die Vorwärtsbewegung des Reservoirs zu realisieren bleibt dabei unverändert. Es wird lediglich die Spule als Erzeuger der axialen Kraft, die der Federkraft entgegenwirkt, ersetzt. Dabei ist zu beachten, dass sich bei dem bisher verwendeten Dispensor die Spule außerhalb des

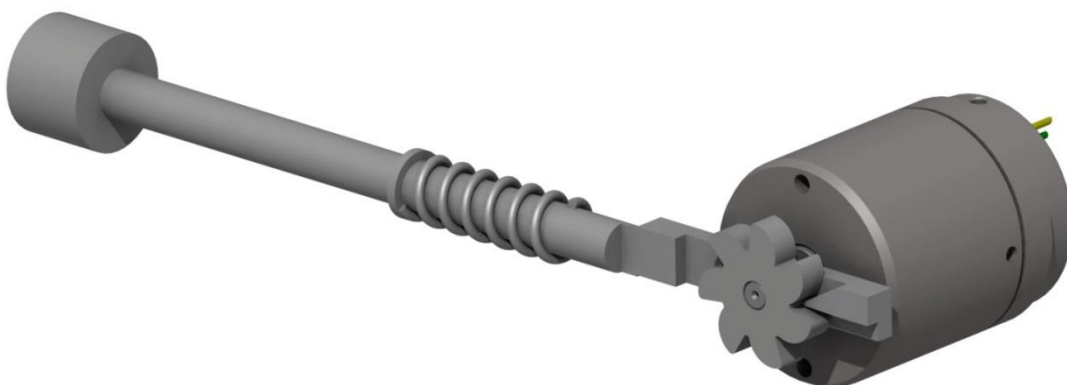
Vakuum befand. Vorteil dieser Methode ist, dass keine elektrischen oder mechanischen Durchführungen in dem Vakuumbereich benötigt werden.

Als Alternative zu dem bestehenden System wird hier der Piezomotor LR50 Version 12D der Firma Piezo-Motor Uppsala AB betrachtet. Dessen wichtigsten technische Daten sind in der Tabelle 8 dargestellt.

**TABELLE 8 EIGENSCHAFTEN PIEZOMOTOR LR50**

Eigenschaft	Wert
Drehmoment	0...25mNm
Haltemoment	50mNm
Geschwindigkeit	0...100°/s
Microsteps	7,0E-5 mrad
Betriebstemperatur	-20 – 70 °C
Gewicht	60 g

Dieser Motor wird bereits an anderer Stelle in der neuen Vakuumkammer verbaut und ist für die Anforderungen, die an technische Komponenten in einen Hochvakuum gestellt werden, ausgelegt. Wie ein DC-Motor besteht auch der LR50 aus einem Rotor und einen Stator. Anders ist hingegen, dass der Rotor bei diesem Motor über piezoaktive Keramiken in Bewegung versetzt wird und nicht, wie bei DC-Motoren, über die Magnetfelder von Spulen. Bei den Keramiken handelt es sich dabei um Elemente die beim Anlegen einer Spannung ihre Form verändern und sich hierdurch ausdehnen oder zusammenziehen. Obwohl dieser Motor elektrisch betrieben wird entstehen, durch das Wegfallen der Antriebsspulen, fast keine elektrischen Felder.

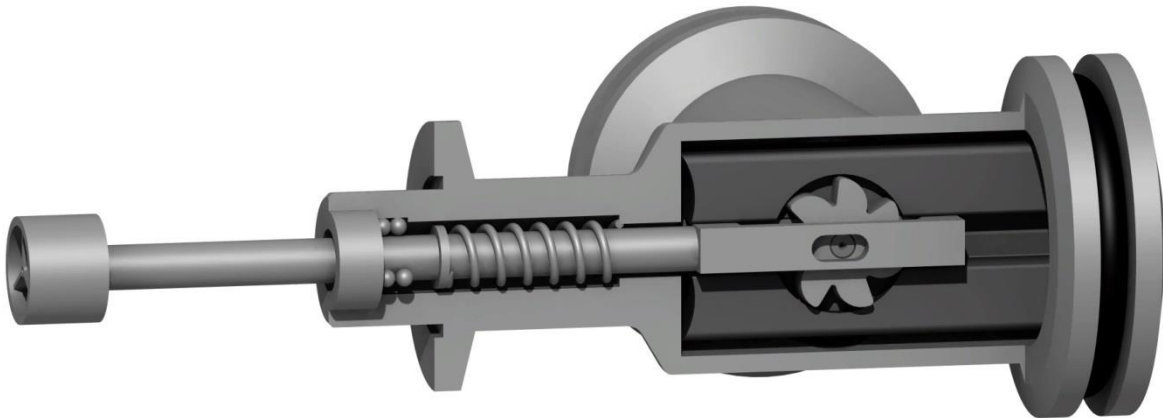


**ABBILDUNG 20 FUNKTIONSMODELL EINES ANTRIEBS MIT PIEZOMOTOR**

Ein Konzept zur Umsetzung der rotatorischen Bewegung des Motors in eine lineare, wie sie für den Betrieb benötigt wird, ist auf der Abbildung 20 dargestellt. Hierbei treibt der Motor ein Ritzel mit schaufelförmigen Zähnen an, welches wiederum den

## 6. Varianten für ein neues System

Stab, an welchem sich das Reservoir befindet, zurück schiebt und so die Feder spannt. Durch die Anzahl der Zähne auf dem Ritzel kann bestimmt werden wie oft der Dispensor, während einer Umdrehung des Motors, Partikel in die Kammer abgibt. Allerdings sind höhere Abgabefrequenzen durch die geringe Rotationsgeschwindigkeit des Motors nicht möglich. Ebenfalls zu prüfen wäre, ob das Drehmoment ausreicht um die Rückstellfeder zu spannen bzw. ob es möglich ist eine Feder mit geringerer Zugkraft zu verwenden.



**ABBILDUNG 21 DISPENSORENTWURF MIT PIEZOMOTOR**

Abbildung 21 zeigt einen Dispensor ausgestattet mit einem Piezomotor im Schnitt. Der Bauraum würde sich, im Vergleich zum bisher verwendeten Dispensor nur geringfügig vergrößern. Die signifikanteste Änderung ist, dass der Motor nun seitlich aus dem Dispensor herausragt. Durch günstige Platzierung wird hierdurch jedoch kein anderes System der Vakuumkammer beeinträchtigt.

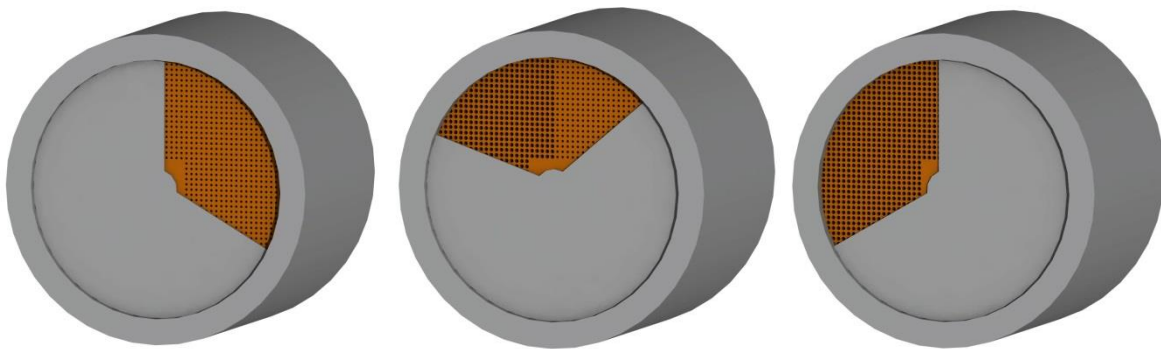
Der Antrieb kann wie dargestellt, für den bisher verwendeten Dispensor verwendet werden, eignet sich aber auch für die Dispensorkonzepte mit dem Zylinder-Schlauch-System oder der Exzentrerschneckenpumpe.

**TABELLE 9 VOR- UND NACHTEILE EINES PIEZOMOTORS ALS ALTERNATIVEN ANTRIEB**

Vorteil	Nachteil
keine magnetischen Felder	keramische Elemente nur bedingt mechanische belastbar
	geringes Drehmoment
	zusätzliche Vakuumkabeldurchführung

### 6.3. Verwendung verschiedener Partikelgrößen

Um Partikel unterschiedlicher Größe verwenden zu können wurde ein Konzept erstellt, dass mit einem Sieb arbeitet, welches verschiedene Lochgrößen aufweist. Durch drehen einer eingeschnittenen Scheibe, die sich vor dem Sieb befindet wäre es so möglich, wie auf Abbildung 22 dargestellt, zwischen verschiedenen Lochgrößen zu wechseln. Dies würde ermöglichen, dass bei Experimenten, bei denen Partikel mit geringerer Größe gebraucht werden, größere Partikel davon abgehalten werden in die Kammer zu gelangen. Durch eine Aufteilung des Reservoirs in mehrere Kammern wäre es zudem möglich Partikel verschiedener Größen getrennt voneinander im Reservoir zur Verfügung zu halten.



**ABBILDUNG 22 PRINZIP ZUM VERÄNDERN DER PARTIKELGRÖÖE**

Nachteil dieses Konzept ist, dass eine Wiederbefüllung des Reservoirs durch Systeme wie unter Abschnitt 6.1.1. und 6.1.2. beschrieben nicht möglich wäre, da diese nur den Transport von Partikeln einer bestimmten Größe zulassen. Zudem würde zum Drehen der Scheibe ein zusätzlicher Antrieb benötigt. Aus platztechnischen Gründen müsste dieser außerhalb der Kammer platziert werden, weshalb zusätzliche eine mechanische Verbindung zwischen der Scheibe und dem Antrieb nötig wäre.

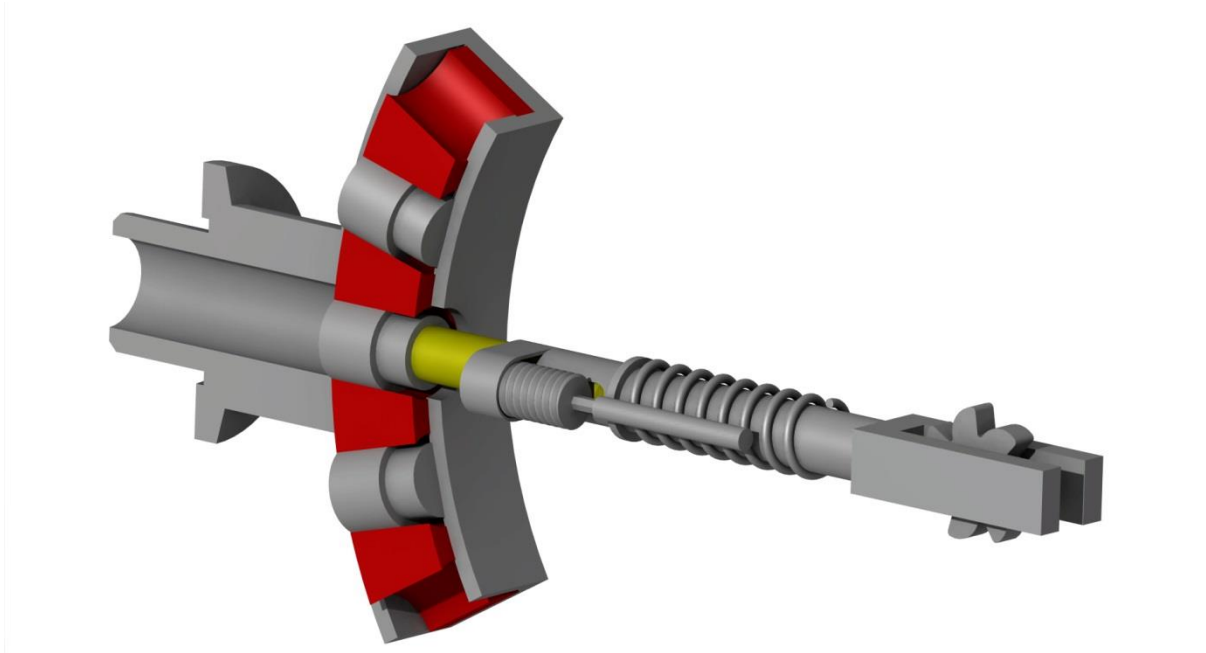
**TABELLE 10 VOR- UND NACHTEILE DER VERWENDUNG EINES PARTIKELGITTERS MIT VERSCHIEDENEN LOCHGRÖÖEN**

Vorteil	Nachteil
Verwendung verschiedene Partikelgrößen möglich	Zusätzlicher Antrieb und eine mechanische Verbindung zum Reservoir nötig
	Kein Widerbefüllen des Reservoirs durch die unter Abschnitt 6.1.1 und 6.1.2. beschrieben Konzepte möglich

## 6. Varianten für ein neues System

### 6.4. Dispensor mit austauschbaren Reservoirs

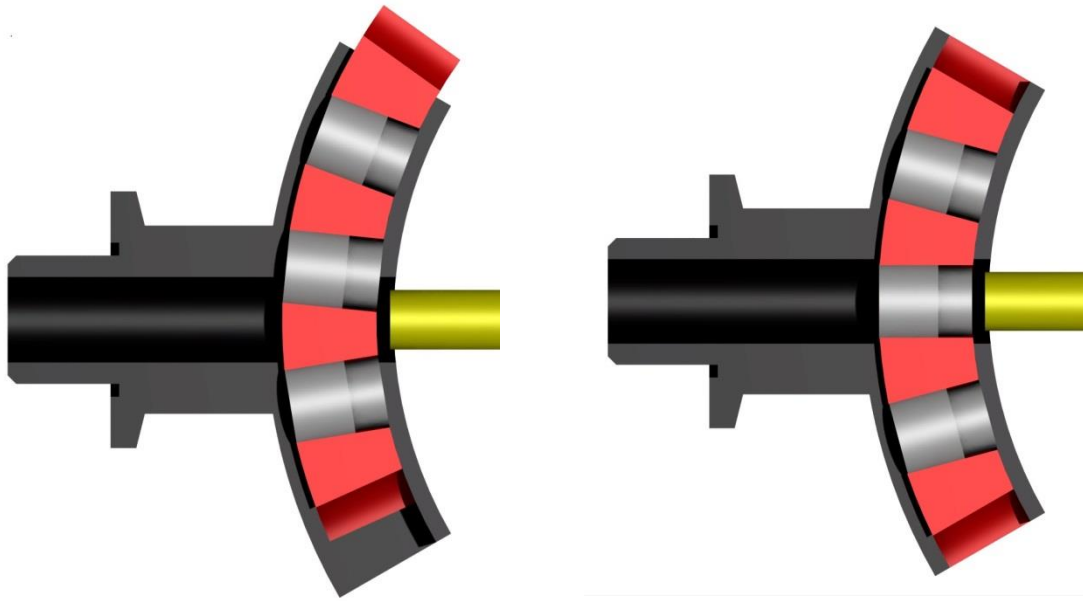
Zur Lagerung der Partikel werden bei diesem Konzept mehrere Reservoirs in einem kreisförmigen Magazin gelagert. Dieses Magazin befindet sich außerhalb der eigentlichen Kammer, jedoch innerhalb des Vakuums. Soll ein Reservoir verwendet werden, wird dieses in einem Kanal in die Vakuumkammer gefahren um dort, wie bei den bisher verwendeten Dispensoren, durch entsprechende Vor- und Rückwärtsbewegungen Partikel in die Kammer abzugeben.



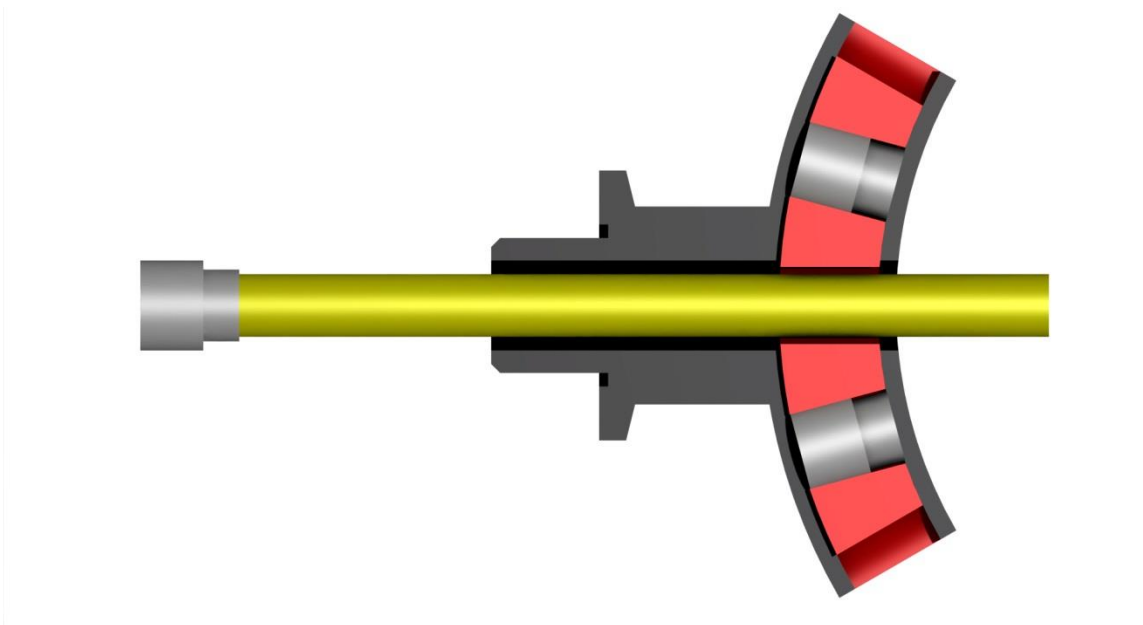
**ABBILDUNG 23 KONZEPTBILD EINES DISPENSORS MIT AUSTAUSCHBAREN RESERVOIRS**

Sobald ein Reservoir leer ist oder eine andere Partikelgröße für ein Experiment benötigt wird, kann dieses, wie auf den Abbildungen 24 und 25 dargestellt, ausgewechselt werden. Vorteil dieses Konzepts ist, dass die Partikel beim Transport in die Kammer nicht mechanisch belastet werden und durch die Verwendung mehrerer Reservoirs auch die Möglichkeit besteht unterschiedliche Partikelgrößen zu verwenden.





**ABBILDUNG 24 DREHUNG DES MAGAZINS**



**ABBILDUNG 25 EINFAHREN DES MAGAZINS IN DIE VAKUUMKAMMER**

Eine entscheidende Komponente hierbei ist die Kopplung zwischen Reservoir und Antriebsstange. Diese muss so gestaltet und automatisiert sein, dass ein Verkanten oder die Möglichkeit einer anderen Fehlfunktion so weit wie möglich minimiert wird. Dies ist entscheidend, da ansonsten die Funktion des gesamten Dispensors behindert würde. Zudem muss die Verbindung alle Belastungen, die vom Antrieb ausgeübt werden, standhalten. Außerdem sind für die Umsetzung dieses Konzepts mehrere zusätzliche Antriebe erforderlich. Einer für die Drehung des Magazins und einer zum Rein- und Herausfahren des Reservoirs in die Kammer.



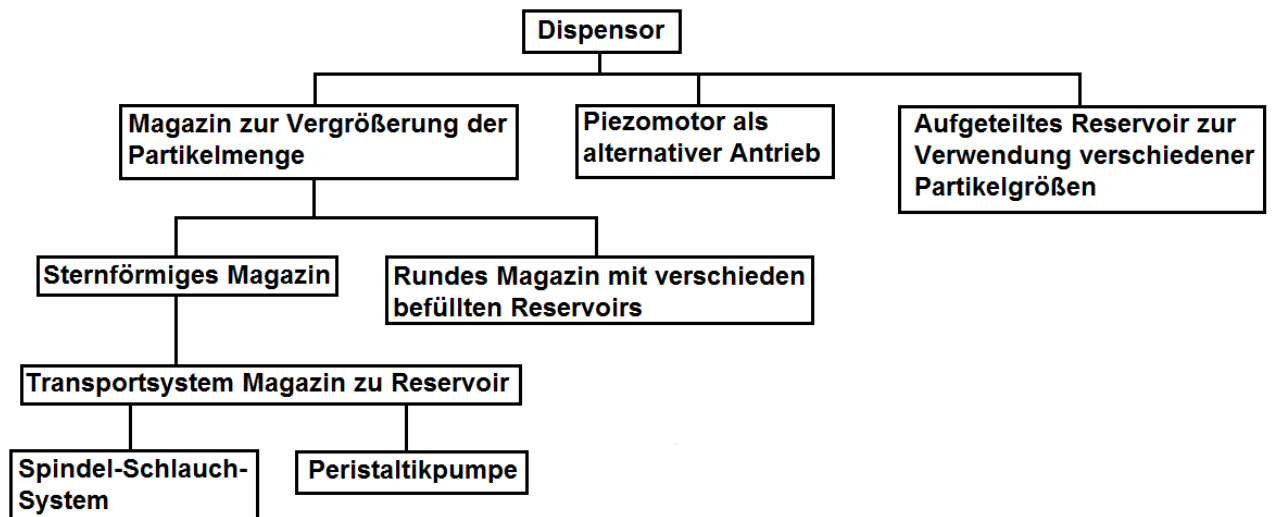
## 6. Varianten für ein neues System

**TABELLE 11 VOR- UND NACHTEILE DES DISPENSORS MIT AUSTAUSCHBAREN RESERVOIRS**

Vorteil	Nachteil
Ermöglicht größere Menge an Partikel	Benötigt ein Kopplungssystem zwischen Reservoir und Antrieb
Verwendung verschiedener Antriebe möglich	Drei Aktoren nötig
Verwendung verschiedener Partikelgrößen möglich	großes Bauvolumen
Keine mechanische Belastung der Partikel	Große Anzahl an Kanälen die evakuiert werden müssen

### 6.5. Vergleich der Varianten

Im Folgenden sollen die in den vorherigen Abschnitten vorgestellten Varianten und Veränderungen miteinander verglichen werden. Zudem wird eine Auswahl getroffen, welches Konzept für eine praktische Realisierung weiter verfolgt werden soll. Zur besseren Übersicht sind die verschiedenen Lösungsansätze für die unterschiedlichen Probleme auf Abbildung 26 noch einmal aufgelistet.



**ABBILDUNG 26 ÜBERSICHT DER DISPENSORVARIANTEN**

### 6.5.1. Aufgeteiltes Reservoir zur Verwendung verschiedener Partikelgrößen

Die Aufteilung des Reservoirs, zur Verwendung verschiedener Partikelgrößen hat, wie unter Abschnitt 6.3. beschrieben, den Nachteil, dass eine Zufuhr von weiteren Partikeln nicht möglich ist. Nach der Wichtung unter Abschnitt 4.4. ist es für den zukünftigen Dispensor jedoch das bedeutendste Kriterium die Partikelmenge zu vergrößern, weshalb dieses Konzept nicht weiter verfolgt wird.

### 6.5.2. Piezomotor als alternativer Antrieb

Der alternative Antrieb mittels eines Piezomotors ist für jedes Konzept mit vergrößerter Partikelmenge einsetzbar. Allerdings hat dieser Antrieb durch die Verwendung von Piezokeramiken, im Gegensatz zu einer Spule mit Eisenkern eine höhere Wahrscheinlichkeit auszufallen. Dies ist dadurch begründet, dass im normalen Betrieb, durch die Vor- und Zurückbewegung, Schläge auf das System ausgeübt werden, welche die Piezokeramiken zusätzlich belasten. Hinzu kommt das vergleichsweise kleine Drehmoment und die geringe Drehzahl des Motors, welche ihn nur bedingt für den Einsatz als alternativen Antrieb zulassen. Unter der Voraussetzung, dass Partikel nur vor einem Experiment in die Vakuumkammer eingestreut werden und somit die Messungen von einem elektromagnetischen Feld nicht beeinflusst werden, wird deshalb im Folgenden auf den Einsatz eines Piezomotors verzichtet und das Konzept einer Antriebspule weiter verfolgt.

### 6.5.3. Dispensoren mit Magazin zur Vergrößerung der Partikelmenge

Zur Vergrößerung der Partikelmenge wurden drei Konzepte vorgestellt, die hier im Folgenden miteinander auf die konstruktiven Bedingungen, welche unter Abschnitt 5 festgelegt wurden, verglichen werden sollen.

## **Sicherheit**

### **Dispensor mit Spindel-Schlauchsystem**

Die höchste Ausfallwahrscheinlichkeit besteht hier im Versagen des Peristaltikschlauchs, da dieser in seinen normalen Anwendungsbereich nur für eine kurze Betriebsdauer ausgelegt ist und nicht für einen Einsatz über mehrere Jahre.

## 6. Varianten für ein neues System

### **Dispensor mit Exzentschneckenpumpe**

Da bei diesem Konzept, neben den beweglichen Schiebern im Magazin, lediglich der Rotor der Exzentschneckenpumpe als zusätzliches bewegliches Element dem Dispensor hinzugefügt wird, ist dessen Ausfallwahrscheinlichkeit geringer, gegenüber dem der anderen Varianten. Hinzu kommt, dass auch bei einem Versagen der Pumpe der Betrieb des Dispensors fortgesetzt werden kann, solange noch Partikel im Reservoir vorhanden sind.

### **Dispensor mit austauschbaren Reservoir**

Durch die Verwendung einer mechanischen Kopplung ist die Wahrscheinlichkeit des Versagens dieser Variante höher als bei den anderen Konzepten. Erschwerend kommt hinzu, dass der Ausfall des Kopplungssystems dazu führen würde, dass der Dispensor nicht mehr einsatzfähig wäre. Zudem werden zur Umsetzung zwei zusätzliche Aktoren benötigt.

### **Gewicht**

Das genaue Gewicht der einzelnen Konzepte kann in dieser Phase der Konzeptionierung noch nicht vorausgesagt werden. Man kann aber davon ausgehen, dass die Dispensoren mit dem Spindelschlauchsystem und der Exzentschneckenpumpe durch den ähnlichen Aufbau, auch im Gewicht nahe beieinander liegen. Der Dispensor mit austauschbaren Reservoirs hingegen liegt durch seine größere Komplexität und der damit einhergehenden größeren Anzahl einzelner Komponenten, im Gewicht höher als die anderen Varianten.

### **Vakuumtauglichkeit**

Alle drei Konzepte sind so ausgelegt, dass die wesentlichen Komponenten mit der Vakuumkammer verbunden sind und gegen die Umwelt Vakuumdicht versiegelt werden können.

### **Platzbedarf**

Ähnlich wie beim Gewicht verhält es sich auch bei dem Platzbedarf. So kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der ähnlichen Bauart die Dispensoren mit Spindelschlauchsystem und Exzentschneckenpumpe ein ähnliches Bauvolumen

aufweisen. Dem hingegen wird der Dispensor mit austauschbaren Reservoirs größer ausfallen.

## **Komplexität**

### **Dispensor mit Spindel-Schlauchsystem**

Die Einbindung des Peristaltikschlauchs in das System, sowie die Zufuhr der Partikel zu diesem Schlauch macht diesen Dispensor im Wesentlichen komplexer als das Konzept, welches eine Exzentrerschneckenpumpe verwendet. In seiner Gesamtheit werden jedoch weniger Komponenten benötigt als bei der Dispensorversion mit austauschbaren Reservoirs.

### **Dispensor mit Exzentrerschneckenpumpe**

Durch die Verwendung der Exzentrerschneckenpumpe, die lediglich über eine rotierende Komponente verfügt, ist dieses Konzept auch insgesamt am wenigstens komplex.

### **Dispensor mit austauschbaren Reservoir**

Die Nutzung eines Kopplungssystems, eines Mechanismus zum Verfahren des Reservoirs, sowie der Verwendung eines drehbaren Magazins, macht dieses Konzept in Gänze umfangreicher als die anderen betrachteten Systeme.

## **Robustheit**

Die einzelnen Komponenten des Dispensors mit Exzentrerschneckenpumpe und des Dispensors mit austauschbarem Reservoir können so ausgelegt werden, dass sie sowohl den Bedingung im Betrieb auf der Raumstation, sowie den Belastungen eines Raketenstarts standhalten können. Bei der Verwendung des Spindel-Schlauch-Systems müsste dementsgegen insbesondere der Peristaltikschlauch auf die Verwendungstauglichkeit über mehrere Jahre hinweg untersucht werden. Zudem müsste die Spindel, durch den begrenzten Bauraum dementsprechend klein dimensioniert werden, was ihre Anfälligkeit gegenüber größeren Kräften erhöhen würde.

## 6. Varianten für ein neues System

### **Geringe Partikelbelastung**

#### **Dispensor mit Spindel-Schlauchsystem**

Durch das zusammendrücken des Peristaltikschlauchs und dem ausgeübten Druck um die Partikel zu bewegen, besteht bei dem Spindel-Schlauch-System eine recht hohe Belastung auf die Partikel, welche hierdurch verkleben bzw. mechanisch verformt werden können. Darüber hinaus werden die Partikel, durch die Schieber im Magazin, durch Druck belastet.

#### **Dispensor mit Exzentrerschneckenpumpe**

Da sich die Bewegungsräume in der Exzentrerschneckenpumpe vom Volumen nicht verändern werden die Partikel während des Transports vom Magazin zum Reservoir nicht zusammengedrückt. Jedoch kann es an den Stellen, an denen sich Stator und Rotor berühren zu Reibung kommen, wodurch einzelne Partikel beschädigt werden können. Zudem wird durch die Schieber im Magazin ebenfalls eine mechanische Belastung auf die Partikel ausgeübt.

#### **Dispensor mit austauschbaren Reservoirs**

Durch das Aufbewahren der Partikel in einzelnen Reservoirs, werden diese nicht belastet. Zusätzlich dazu können durch die räumliche Trennung, Partikel unterschiedlicher Größe gelagert werden, was die Verwendung von verschiedenen Partikelarten in diesem Dispensor möglich macht.

## 6.6. Auswahl einer Variante

### 6.6.1. Zusammenfassung der Dispensorkonzepte

Unter Verwendung der im vorangegangenen Abschnitt betrachteten Kriterien wird eine Auswahl des Konzepts getroffen, dass im Folgenden weiter verfolgt werden soll. Hierbei werden nur die Konzepte mit der vergrößerten Partikelkapazität betrachtet, da die Verwendung eines alternativen Antriebs sowie die Aufteilung der Reservoirs für verschiedene Partikelgrößen bereits verworfen wurden. Zu einer besseren Übersicht wurden in Tabelle 12 die einzelnen Kriterien aus Abschnitt 6.5. und deren Wichtigkeit aus Abschnitt 5.2. noch einmal zusammengefasst.

**TABELLE 12 VERGLEICH DISPENSORKONZEPTE**

	Wertung	Dispensor mit Spindel-Schlauchsystem	Dispensor mit Exzentrerschneckenpumpe	Dispensor mit austauschbaren Reservoir
<b>Sicherheit</b>	7	Geringe Sicherheit durch Verwendung des Peristaltikschlauchs	Hohe Sicherheit durch die Verwendung von wenigen beweglichen Komponenten	Ausreichende Sicherheit, jedoch Verwendung einer hohen Anzahl von Komponenten und eines Kopplungssystems
<b>Gewicht</b>	1	Gewicht vergleichbar mit dem des Dispensors mit Exzentrerschneckenpumpe	Gewicht vergleichbar mit dem des Dispensors mit Spindel-Schlauchsystem	Höheres Gewicht als die anderen Dispensorkonzepte
<b>Vakuumtauglichkeit</b>	12	Vakuumtauglichkeit gewährleistet	Vakuumtauglichkeit gewährleistet	Vakuumtauglichkeit gewährleistet
<b>Platzbedarf</b>	1	Platzbedarf ähnlich des Dispensors mit Exzentrerschneckenpumpe	Platzbedarf ähnlich des Dispensors mit Spindel-Schlauchsystem	Platzbedarf höher als der, der anderen Dispensorkonzepte
<b>Komplexität</b>	5	Hohe Komplexität durch die Verwendung des Peristaltikschlauchs	Geringe Komplexität	Hohe Komplexität
<b>Robustheit</b>	8	Gering durch die Verwendung des Peristaltikschlauchs	Hoch durch die Verwendung weniger Komponenten und der geringen Komplexität	Ausreichende Robustheit bei der Verwendung eines stabilen Kopplungssystems
<b>Geringe Partikelbelastung</b>	8	Partikel werden stark Belastet	Partikel werden Belastet	Keine Belastung

## 6. Varianten für ein neues System

### 6.6.2. Entscheidung über das zu verfolgende Dispensorkonzept

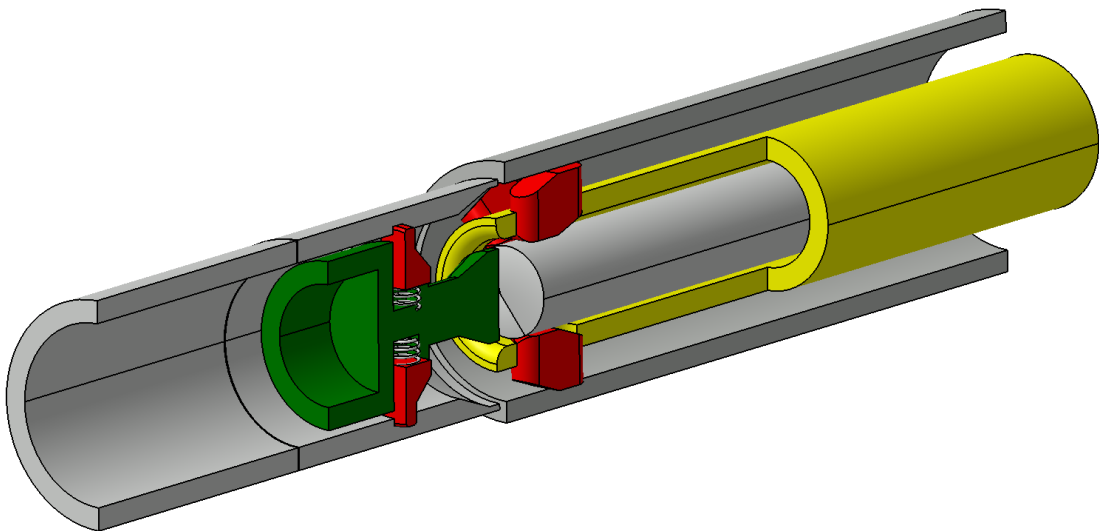
Aufgrund der geringen Sicherheit und der geringen Robustheit, sowie der starken Belastung der Partikel wurde entschieden, dass das Konzept des Spindel-Schlauchsystems nicht weiter verfolgt wird. Die Entscheidung zwischen dem Konzept mit der Exzentrerschneckenpumpe und den austauschbaren Reservoirs fiel auf das Letztere. Zu begründen ist dies damit, dass dieses Konzept trotz der geringeren Sicherheit, der geringeren Robustheit und der höheren Komplexität den Vorteil bietet, dass die Partikel keinerlei Belastungen erfahren und somit auch kein negativer Einfluss auf die Experimente vom Dispensor ausgehen. Zudem wird durch die Möglichkeit verschiedene Partikelsorten zu verwenden, die Funktionalität des Dispensors zusätzlich erweitert. Das höhere Gewicht und der höhere Platzbedarf wird von diesen Vorteilen ausgeglichen.

## 7. Konstruktion des Dispensors

### 7.1. Kopplung zwischen Reservoir und Antrieb

Im vorangegangenen Abschnitt wurde entschieden ein Konzept zu verfolgen, welches vorsieht eine größere Anzahl von baugleichen Reservoirs zu verwenden. Um diese mit dem Antrieb des Dispensors zu verbinden wird ein Kopplungsmechanismus benötigt, für den im Folgenden zwei unterschiedliche Konzepte betrachtet werden. Der Mechanismus muss dabei in der Lage sein, vollständig automatisiert eine mechanische Verbindung zwischen Reservoir und Antrieb herzustellen und diese auch wieder zu lösen, da ein Eingreifen von außen nicht möglich ist.

#### 7.1.1. Kopplung mittels Einrastelementen

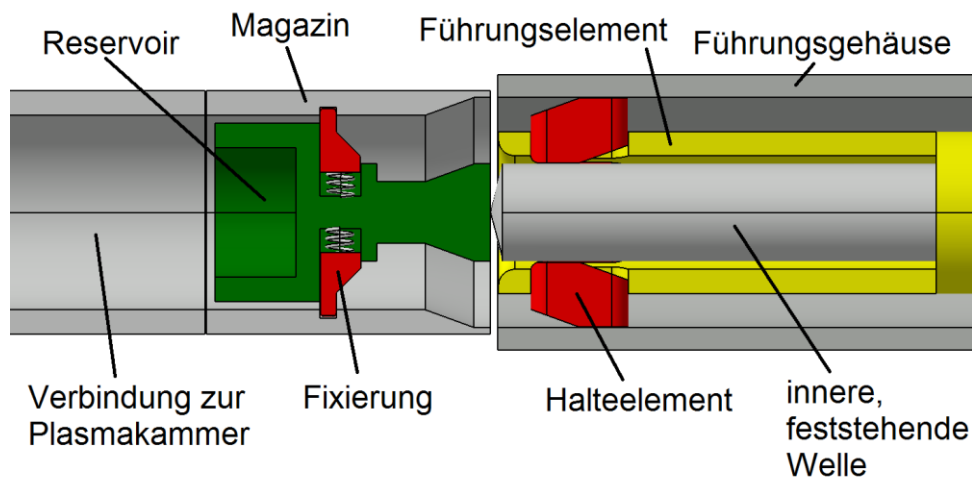


**ABBILDUNG 27 SCHNITT DURCH DAS KOPPLUNGSSYSTEM**

Das auf Abbildung 27 dargestellte System besteht im Wesentlichen aus dem Reservoir, welches im Magazin fixiert ist und einer Führung mit Halteelementen, welche an das Reservoir heran gefahren wird. Um dies zu verdeutlichen gibt Abbildung 28 eine nähere Übersicht über die einzelnen Komponenten.

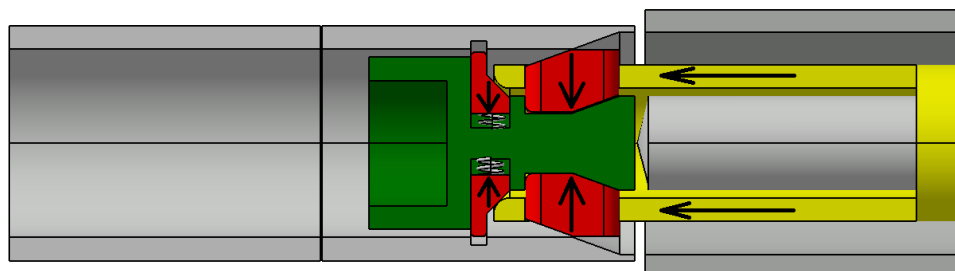


## 7. Konstruktion des Dispensors



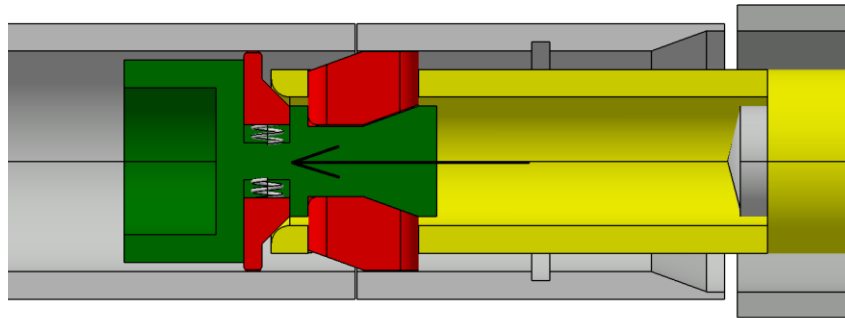
**ABBILDUNG 28 TEILEBEZEICHNUNG DER EINZELNEN KOPONENTEN**

Die Funktion des Systems basiert darauf, dass das Führungselement, zusammen mit den Halteelementen, aus dem Führungsgehäuse herausgefahren wird. Das Führungsgehäuse, das Magazin und die Verbindung zur Plasmakammer bilden dabei einen Kanal, welcher sich im Magazin verjüngt. Hierdurch werden die Halteelemente in die entsprechende Vertiefung im Reservoir hineingeschoben. Gleichzeitig drückt das Führungselement die Fixierungen zusammen, wodurch sich das Reservoir aus dem Magazin löst und sich verschieben lässt. Auf Abbildung 29 ist die Verbindung zwischen Führungselement und Reservoir dargestellt.



**ABBILDUNG 29 VERBINDUNG ZWISCHEN DEM FÜHRUNGSELEMENT UND DEM RESERVOIR**

Da der Kanal bis in die Plasmakammer einen konstanten Durchmesser beibehält, ist es nicht möglich, dass sich die Halteelemente aus den Vertiefungen des Reservoirs lösen, wodurch das Reservoir und der Antrieb im Betrieb fest verbunden bleiben.



**ABBILDUNG 30 EINSCHUB ZUR ENDLAGE IN DIE PLASMAKAMMER**

Auf Abbildung 30 ist der Verschluss in dem Zustand zu sehen, welchen er auch im Betrieb hat. Die Fixierungen berühren hierbei nicht den Kanal. Jedoch besteht eine reibschlüssige Verbindung zwischen diesem und den Halteelementen, weshalb für diese Komponenten Materialien ausgewählt werden müssen, die den daraus resultierenden Beanspruchungen standhalten.

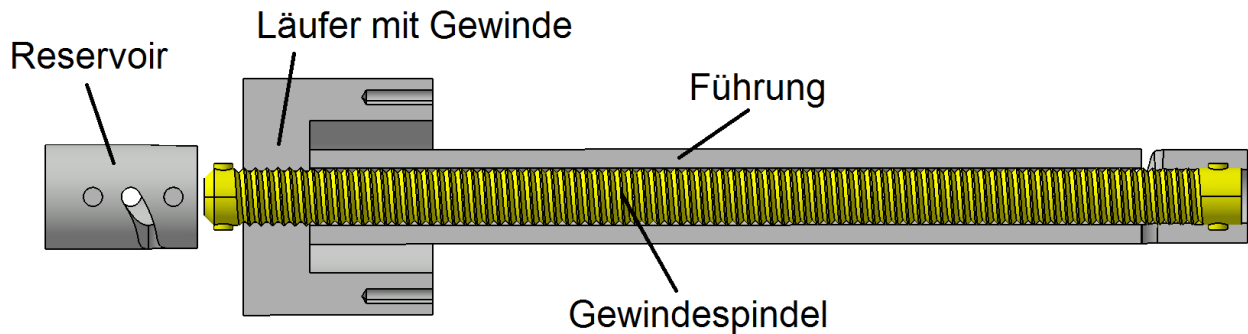
**TABELLE 13 VOR-/NACHTEILE DER KOPPLUNG MITTELS EINRASTELEMENTEN**

Vorteil	Nachteil
Fixierte Lagerung des Reservoirs im Magazin	Hohe Anzahl an von beweglichen Komponenten die in die Kammer mitgeführt werden (Fixierung, Halteelemente)
Kraftschlüssige Verbindung zwischen Reservoir und Antrieb	Permanente Reibung zwischen den Halteelementen und dem „Kanal“ im Betrieb
	Sehr genaue Positionierung zwischen dem Führungsgehäuse und dem Magazin erforderlich

## 7. Konstruktion des Dispensors

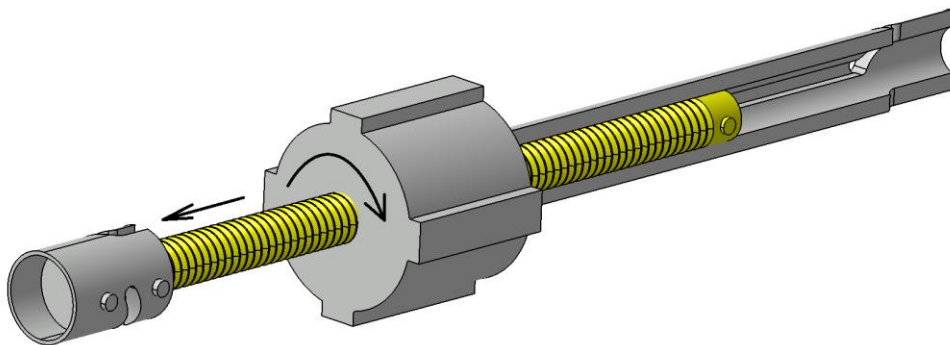
### 7.1.2. Kopplung mittels Bajonettverschluss

Als zweites Konzept soll hier die Kopplung mit dem Prinzip eines Bajonettverschlusses in Verbindung mit einer Teleskopvorrichtung umgesetzt werden. Die funktionsgebenden Komponenten dieses Konzepts sind auf Abbildung 31 dargestellt.



**ABBILDUNG 31 TELESKOPVORRICHTUNG IM SCHNITT**

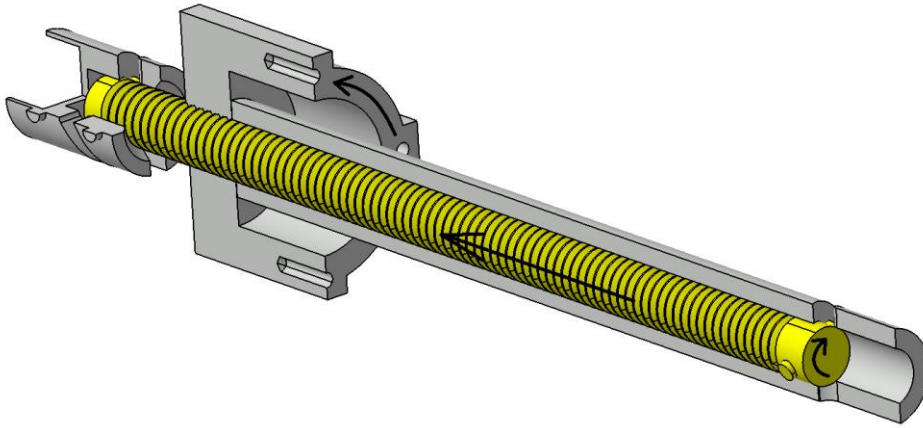
Bei diesem Konzept sind der Läufer und die Gewindestange durch ein Gewinde miteinander verbunden. Gleichzeitig ist der Läufer aber auch drehbar auf der Führung gelagert, sodass sich, wenn dieser bewegt wird, die Gewindespindel vor und zurück bewegt. Der Läufer, die Gewindespindel und die Führung bilden somit zusammen die Teleskopvorrichtung. Deren genaue Funktion ist noch einmal auf Abbildung 32 dargestellt.



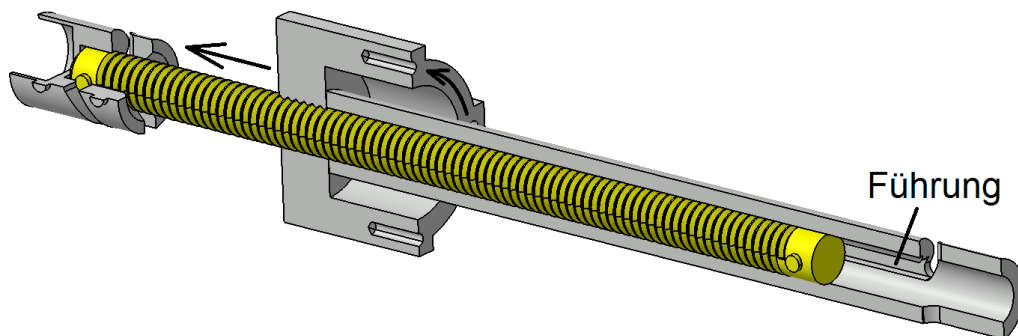
**ABBILDUNG 32 AUSFAHREN DER GEWINDESPINDEL**

Um die Funktion eines Bajonettverschlusses zu realisieren ist es notwendig die Rotation der Gewindespindel zu steuern. Hierzu dienen Stifte, die an beiden Enden der Spindel herausragen. Das hintere Paar greift dabei in eine Nut, die in der Führung eingelassen ist. Hierdurch wird die Spindel an einer bestimmten Position um 90° gedreht. Diese Drehung erfolgt nachdem die Spindel in das Reservoir, welches sich im

Magazin befindet, hineingefahren ist und sorgt dort dafür, dass sich das vordere Stiftepaar, nach dem Prinzip eines Bajonettverschlusses, mit dem Reservoir verbindet. Dieser Vorgang wird auf Abbildung 33 und Abbildung 34 noch einmal näher veranschaulicht.



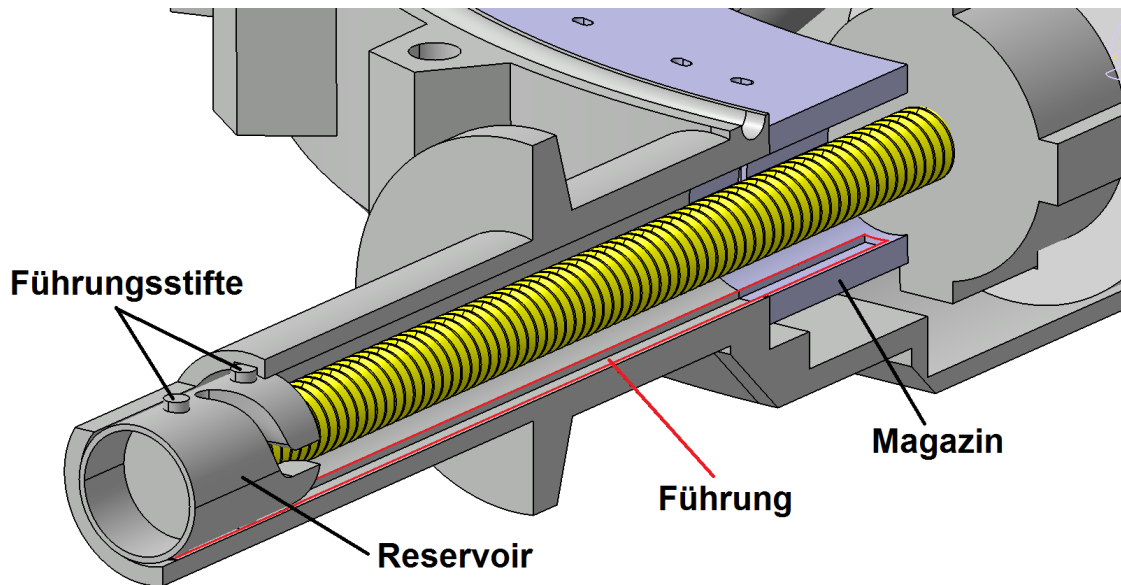
**ABBILDUNG 33 KOPPLUNGSVORGANG**



**ABBILDUNG 34 RESERVOIR MIT GEKOPPELTER GEWINDESPINDEL**

Um die Funktion des Systems sicherzustellen ist es nötig, dass sowohl die Führung, sowie das Reservoir sich nicht verdrehen können. Aus diesem Grund ist das Reservoir ebenfalls mit Führungsstiften ausgestattet, welche in einer Nut laufen, die sich im Verbindungskanal zur Vakuumkammer befindet. Diese Nut ist auf Abbildung 35 zu sehen.

## 7. Konstruktion des Dispensors



**ABBILDUNG 35 FÜHRUNG DES RESERVOIRS IM SCHNITT**

Wie bei dem vorher betrachteten Konzept ist es auch bei diesem wichtig, dass das Magazin und der Kanal möglichst exakt zueinander ausgerichtet sind, da sich das Reservoir ansonsten verhaken könnte.

**TABELLE 14 VOR- UND NACHTEILE DER KOPPLUNG MITTELS BAJONETTVERSCHLUSS**

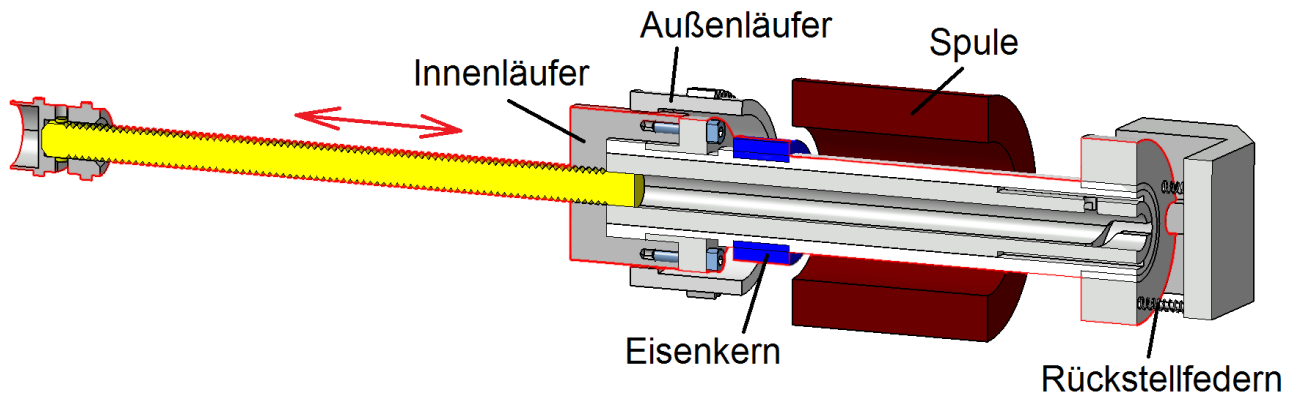
Vorteil	Nachteil
Kraftschlüssige Verbindung zwischen Antrieb und Reservoir	Aufwendige Geometrie
Keine beweglichen Elemente die in die Kammer mitgeführt werden	

### 7.1.3. Entscheidung zur Kopplung zwischen Reservoir und Antrieb

Da für die Kopplung mittels Bajonettverschluss lediglich die Gewindestange und ein Reservoir benötigt werden, wird die Ausfallwahrscheinlichkeit bei diesen Konzept stark minimiert. Ebenso ist es nicht möglich, dass sich einzelnen Komponenten lösen. Eine Gefahr, die für die Halteelemente der Lösung unter Abschnitt 7.1.1. besteht, da diese nur lose in der Führung sitzen. Zudem tritt bei dem Bajonettverschluss nur geringe Reibung zwischen dem Reservoir und seiner Führung im Kanal auf, da diese lediglich verhindern, dass sich das Reservoir verdreht. Dementgegen verlangt das Konzept mit Halteelementen den permanenten Druck des Kanals, um einen Kraftschluss mit dem Reservoir zu gewährleisten.

Hierdurch wird eine wesentlich stärkere Reibung verursacht, mit der auch Abnutzungserscheinungen an den Halteelementen und dem Kanal verbunden sind. Aus diesen Gründen wurde sich für die Kopplung mittels Bajonettverschluss entschieden.

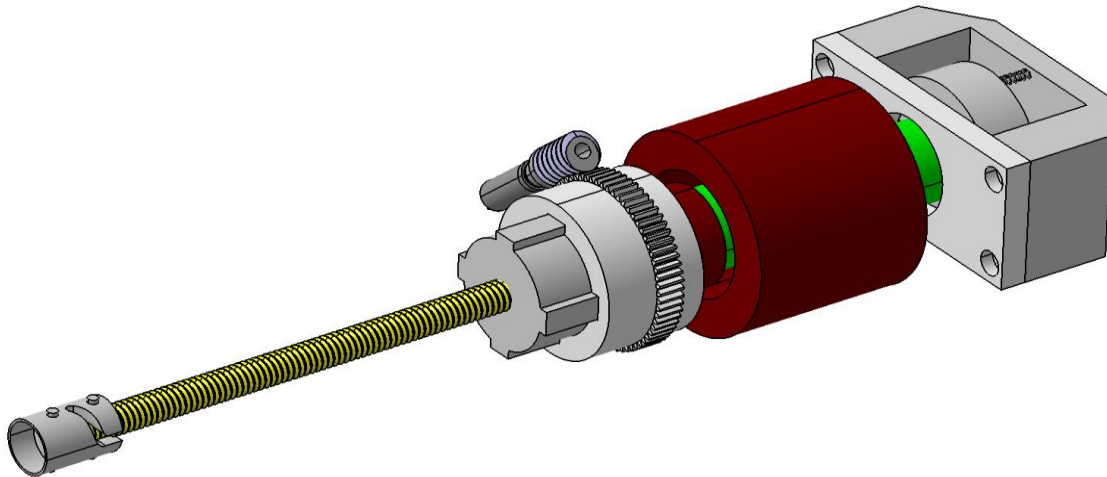
## 7.2. Konstruktion des Antriebes



**ABBILDUNG 36 SCHNITTANSICHT DER WESENTLICHEN TEILE DES ANRIEBES**

Die Grundfunktion des Antriebes basiert auf dem gleichen Prinzip wie der, der bisher verwendeten Dispensoren. So wird das Reservoir, dass mit einer Antriebstange verbunden ist durch eine Spule zurück gezogen, wobei gleichzeitig eine Rückstellfeder gespannt wird. Wird die Spule abgeschaltet schnellst das Reservoir durch die gespannte Feder wieder in seine ursprüngliche Position zurück. Durch das Pulsen der Versorgungsspannung kann so eine schnelle Vor- und Rückwärtsbewegung erzeugt werden. Im Gegensatz zu den vorhanden Dispensoren besteht bei diesem Konzept die Antriebssstange aus der Führung, dem Innenläufer und der Gewindestange und fungiert im normalen Betrieb als eine Einheit. Die einzelnen Komponenten sind auf der Abbildung 36 rot umrahmt dargestellt. Auf der Führung sitzt hierbei fest verbunden der Eisenkern. Zu beachten ist, dass Außen- und Innenläufer über ein Keilnabenprofil miteinander verbunden sind, wobei der Außenläufer sich nicht mitbewegt sondern im Gehäuse drehbar gelagert ist.

## 7. Konstruktion des Dispensors



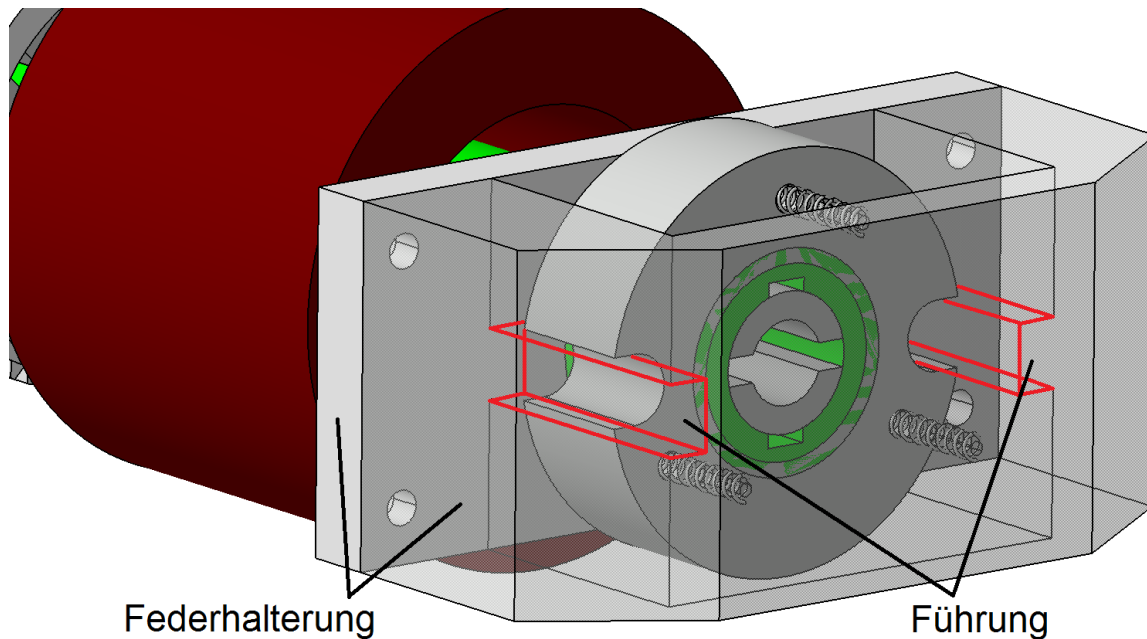
**ABBILDUNG 37 VOLLSTÄNDIGER ANTRIEB MIT RESERVOIR**

Der vollständige Antrieb ist auf Abbildung 37 dargestellt. Zu erkennen ist hier, dass der Außenläufer mittels eines Motors über ein Schneckenrad angetrieben wird. Dies hat den Hintergrund, dass die Kombination zwischen Schnecken- und Zahnrad eine selbsthemmende Wirkung besitzt, wodurch der Motor nur verwendet werden muss, wenn der Wechsel eines Reservoirs gewünscht ist.

### 7.2.1. Rückstellfedern

Durch die Bauart des Kopplungssystems ist es nun nicht mehr möglich die Rückstellfeder um die Antriebsstange zu legen, wie dies bei den bisher verwendeten Dispensoren der Fall war. Aus diesem Grund wurde diese Komponente in den hinteren Teil des Antriebes verlagert. Zudem ist in diesem Bereich eine Führung für die Antriebsstange vorgesehen, um dessen Verdrehung zu verhindern. Dies ist nötig da, wie unter Abschnitt 7.1.2. dargestellt, der Kopplungsmechanismus bei einer Verdrehen der Führung, welche Bestandteil der Antriebsstange ist, nicht funktionieren würde. Zur Aufnahme der Federn dient die Federhalterung, die mit dem unter Abschnitt 7.7. beschriebenen Gehäuse fest verbunden ist. Da es, wie auf Abbildung 38 erkennbar, konstruktiv nicht möglich ist eine Feder in der Mitte des Antriebes zu positionieren, wurde hier die Federkraft auf drei Federn verteilt. Diese sind jeweils um  $120^\circ$  versetzt angeordnet und mit einem Abstand von 11,5mm zum Zentrum positioniert.





**ABBILDUNG 38 DETAILANSICHT FEDERHALTERUNG**

Für die Federn wurde ein Produkt der Firma Febrotec ausgewählt. Diese besitzt laut Datenblatt eine Federkonstante  $c$  von  $0,368 \text{ N/mm}$ . Da die Federn um  $5\text{mm}$  zusammengedrückt werden ergibt sich hieraus eine Federkraft von:

$$F_F = c * x = 0,368 \frac{\text{N}}{\text{mm}} * 5\text{mm} = 1,84\text{N} \quad (7.1)$$

Da die Federn parallel zueinander liegen können die Kräfte der einzelnen Feder miteinander addiert werden. Hierdurch ergibt sich eine Gesamtfederkraft von:

$$F_{Fges} = 3 * 1,84\text{N} = 5,52\text{N}$$

Dies ist etwas höher als die unter Abschnitt 3.3. errechnete Federkraft von  $3,375\text{N}$  des bisher verwendeten Dispensors. Der Grund hierfür sind die höheren auftretenden Reibungs- und Trägheitskräfte des neuen Antriebs.

## 7. Konstruktion des Dispensors

### 7.2.2. Eisenkern

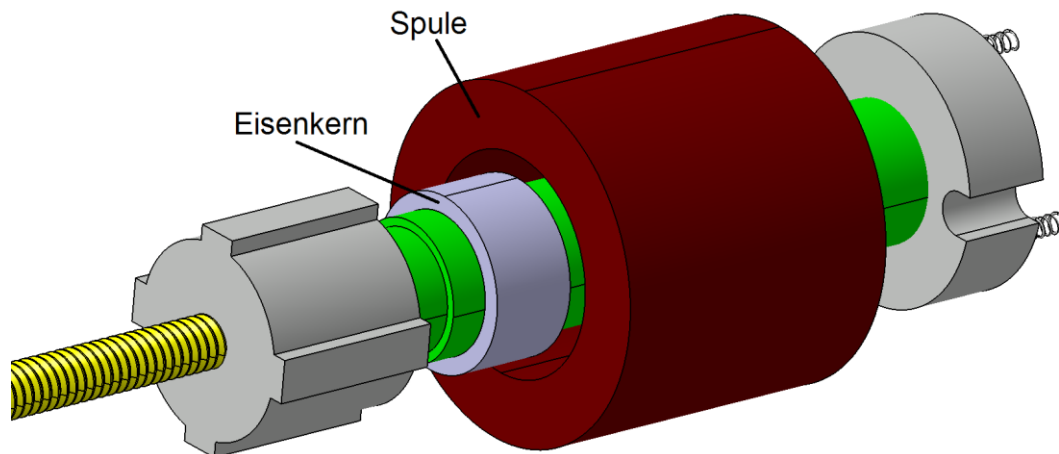


ABBILDUNG 39 SPULE UND EISENKERN

Durch den Aufbau des Antriebes ist die Verwendung eines massiven Eisenkerns nicht mehr möglich. Dieser wird hier durch einen Ring ersetzt, der die Führung der Gewindespindel umschließt. Dieser Ring hat einen Außendurchmesser von 20mm, einen Innendurchmesser von =14mm und eine Länge von =10mm. Mithilfe dieser Werte ist es möglich mit der nachstehenden Formel die Wirkfläche für das Magnetfeld der Antriebsspule berechnen.

$$A_{Fe} = \frac{\pi}{4} * d_a^2 - \frac{\pi}{4} d_i^2 \quad (7.2)$$

$$A_{Fe} = \frac{\pi}{4} * 0,02^2 m^2 - \frac{\pi}{4} 0,014^2 m^2 = 0,00016 m^2$$

Der Ring selbst besteht aus Reinst Eisen mit einer Permeabilität  $\mu_r$  zwischen 2.000-20.000<sup>15</sup>

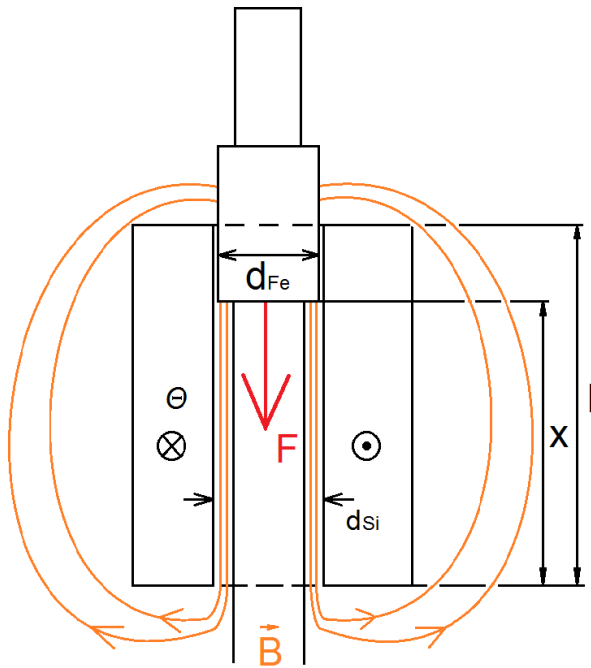
### 7.2.3. Antriebsspule

Wie in Abschnitt 6.5. beschrieben, soll das bisherige Konzept einer Antriebsspule zur Einstreuung der Partikel in das Plasma weiter verfolgt werden. Da die Abmessungen der bisher verwendeten Spule nicht übernommen werden können ist es allerdings nötig, diese neu zu konstruieren. Hierbei werden der zur Verfügung stehende Strom von 1,6A und die Versorgungsspannung von 24V als feste Größen betrachtet, da diese von der Steuerung vorgegeben werden. Ein anderer vorgegebener Wert ist die

<sup>15</sup> <https://www.puronmetals.de/reineisen/>

Kraft, welche das Magnetfeld auf den Eisenkern ausüben muss, um die Funktion des Dispensors zu realisieren. Hierzu dient die errechnete Federkraft von ca. 5,5N, welche jedoch noch mit einer Sicherheit beaufschlagt werden sollte, da an verschiedenen Punkten des neuen System Reibungskräfte auftreten.

#### 7.2.3.1. Ermittlung der magnetische Anziehungskraft



**ABBILDUNG 40 DARSTELLUNG DES MAGNETFELD DER SPULE UND DER WIRKENDEN KRAFT**

Für die folgenden Berechnungen der magnetischen Anziehungskraft wurden Formeln aus dem Werk „Moeller Grundlagen der Elektrotechnik“ verwendet.

Wird Strom an die Spule angelegt entsteht ein Magnetfeld mit einer bestimmten Energiedichte  $\omega$ . Für die folgenden Berechnungen wird angenommen, dass das Magnetfeld im inneren der Spule durch den schmalen Spalt, durch den es sich bewegt, annähernd homogen ist. Die Gesamtenergie  $W$  des Feldes errechnet sich hierbei wie folgt:

$$W = \omega * V \quad (7.3)$$

Wird nun der Eisenkern in die Spule hinein bewegt, verringert sich das Volumen des Feldes in der Spule und somit auch dessen Energiedichte  $\omega$ .

## 7. Konstruktion des Dispensors

Diese kann mit nachstehender Formel berechnet werden:

$$\omega = \int_0^B H * dB \quad (7.4)$$

Die magnetische Feldstärke H wird hierbei aufgeteilt in

$$H_{Fe} = \frac{B}{\mu_0 * \mu_r} \quad (7.5)$$

für den Eisenkern und

$$H_V = \frac{B}{\mu_0} \quad (7.6)$$

für den Bereich, welcher sich im Vakuum befindet. Wobei die Permeabilitätszahl  $\mu_r$  für den Bereich im Vakuum auf eins gesetzt wurde.

Da sich sowohl das von dem Magnetfeld durchflossene Volumen des Eisenkerns, sowie das des Vakuums ändert, ergibt sich hieraus folgende Formel:

$$dW = dV_L * \omega_L - dV_{Fe} * \omega_{Fe} \quad (7.7)$$

$$dW = A_{Fe} * x \left( \int_0^B \frac{B}{\mu_0} * dB \right) - A_{Fe} * (l - x) \left( \int_0^B \frac{B}{\mu_0 * \mu_r} * dB \right) \quad (7.8)$$

Da  $\mu_r \gg \mu_0$  ist kann der Anteil der Energieänderung im Eisenkern vernachlässigt werden, wodurch sich

$$dW = A_{Fe} * x \left( \int_0^B \frac{B}{\mu_0} * dB \right) = A_{Fe} * x \left( \frac{B^2}{2 * \mu_0} \right)$$

ergibt.

Um den Eisenkern zu bewegen, muss eine Anziehungsarbeit verrichtet werden. Da die Änderung der Energiemenge im Eisenkern annähernd konstant ist, kann diese Arbeit nur durch die Verringerung der magnetischen Energie im Vakuumanteil erfolgen. Der sich ändernde Volumenanteil beträgt dabei

$$V(x) = A_{Fe} * (l - x) \quad (7.9)$$

Bei der zu leistenden Arbeit handelt es sich um die Anziehungskraft mal der Wegstrecke, welche der Eisenkern zurücklegt. Somit also:

$$W = F * (l - x) = A_{Fe} * (l - x) \left( \frac{B^2}{2 * \mu_0} \right) \quad (7.10)$$

Nach der Kraft umgestellt ergibt sich hierdurch:

$$F \approx A_{Fe} * \frac{B^2}{2 * \mu_0} \quad (7.11)$$

Da die Fläche des Eisenkerns  $A_{Fe}$  und die magnetische Feldkonstante  $\mu_0$  feste Werte sind, besteht die einzige Möglichkeit auf die Kraft Einfluss zu nehmen darin, die magnetische Felddichte  $B$  zu ändern. Diese setzt sich zusammen aus:

$$B = \mu * H \quad (7.12)$$

Hierbei ist  $\mu = \mu_0 * \mu_r$ . Da nur das Feld im Vakuum betrachtet wird gilt für die folgenden Rechnungen  $\mu = \mu_0$ . Zur Ermittlung der magnetischen Feldstärke  $H$  wird nun im nächsten Schritt die magnetischen Durchflutung  $\theta$  betrachtet.

$$\theta = \oint \vec{H} * d\vec{l} = I * N \quad (7.13)$$

Der Wert  $dl$  entspricht hierbei dem auf der Abbildung 40 dargestellten Wert  $x$ . Unter der Annahme, dass das Feld innerhalb der Spule homogen ist kann diese Formel somit wie folgt nach der magnetische Feldstärke umgeformt werden.

$$H \approx \frac{\theta}{x} \approx \frac{N * I}{x} \quad (7.14)$$

Eingesetzt in die Formel der magnetischen Felddichte ergibt sich somit:

$$B \approx \frac{\mu_0 * I * N}{x} \quad (7.15)$$

Und für die magnetische Anziehungskraft:

$$F \approx A_{Fe} * \frac{\mu_0 * N^2 * I^2}{2 * x^2} \quad (7.16)$$

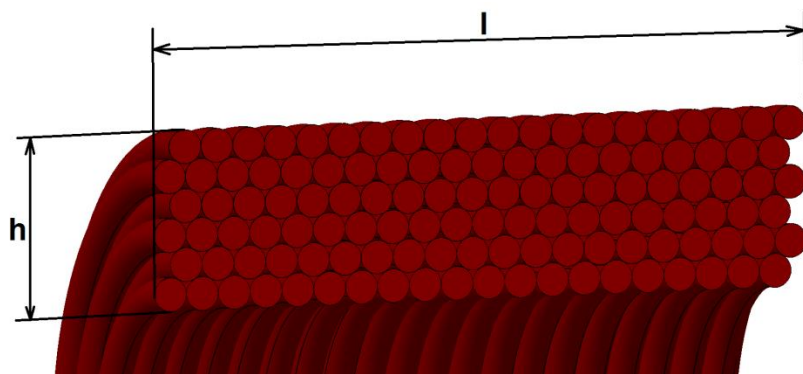
Die Werte, welche von der Geometrie der Spule abhängen sind die Windungszahl  $N$  und die Länge  $x$ .

## 7. Konstruktion des Dispensors

### 7.2.3.2. Bestimmung der Spulendimensionen

Zur Bestimmung der Abmaße der Spule wird zunächst vorausgesetzt, dass eine orthozyklische Wicklung für die Fertigung der Spule verwendet wird, da diese die höchste Dichte der einzelnen Windungen ermöglicht. Zudem soll ein Kupferdraht mit dem Drahtdurchmesser  $dr = 0,4\text{mm}$  verwendet werden.

Die Länge  $l$  und die Windungszahl  $N$  stehen dabei in direkten Zusammenhang mit der magnetischen Anziehungskraft. Der Außendurchmesser ist wiederum abhängig von der Wicklungshöhe  $h$ , die sich aus den beiden vorherigen Werten ergibt und dem Innendurchmesser  $di$ , der unter Berücksichtigung des Gehäuses und des Außendurchmesser des Eisenrings auf 22mm festgesetzt wurde.



**ABBILDUNG 41 SCHNITT DURCH EINE ORTHOZYKLISCHE WICKLUNG**

Die Windungszahl  $N$  berechnet sich hierbei aus der Anzahl der Wicklungen pro Lage  $w$  und der Anzahl dieser Lagen  $a$ .

$$N = w * a \quad (7.17)$$

Die Wicklungen pro Lage  $w$  ergeben sich dabei indem die Länge der Spule durch den Drahtdurchmesser  $dr$  dividiert wird.

$$w = \frac{l}{dr} \quad (7.18)$$

Bei der Bestimmung der Anzahl der Wicklungen muss berücksichtigt werden, dass die einzelnen Lagen nicht genau übereinander liegen. Deswegen ist es nötig hierfür den Füllfaktor  $f$  einzuführen, der sich folgendermaßen ermitteln lässt:

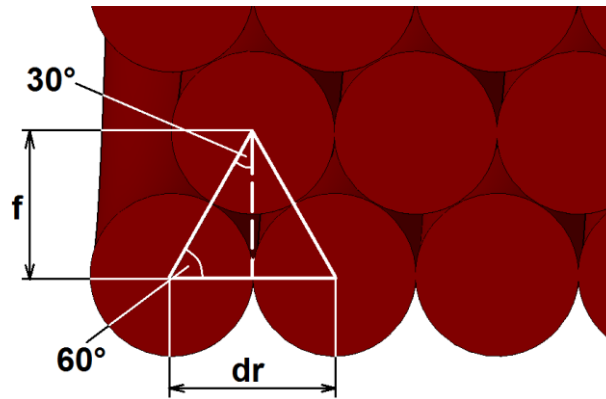


ABBILDUNG 42 ERMITTLUNG DES FÜLLFAKTORS

$$f = \frac{dr * \sin(60^\circ)}{2 * \sin(30^\circ)} = \frac{0,0004m * \sin(60^\circ)}{2 * \sin(30^\circ)} = 0,00034641m \quad (7.19)$$

Die Anzahl der Lagen  $a$  ergibt sich nun indem die Höhe  $h$  durch den Füllfaktor  $f$  dividiert wird.

$$a = \frac{h}{f} \quad (7.20)$$

Die Wicklungshöhe  $h$  wird bestimmen durch:

$$h = \frac{da - di}{2} \quad (7.21)$$

Setzt man die Formeln ineinander ein so ergibt sich in Abhängigkeit von der Windungszahl und der Spulenlänge der Außendurchmesser.

$$da(N, l) = 2 * f * N * dr * \frac{1}{l} + di \quad (7.22)$$

### 7.2.3.3. Auswahl der Spulenparameter

Da die Federn des Antriebes nicht vorgespannt sind und sich der Antrieb nur über den Bereich von 5mm bewegen muss, um die Partikel in die Vakuumkammer zu befördern, kann die Kraft für einen entsprechenden Punkte  $x$  berechnet werden, die die Spule aufbringen muss, um der Federkraft entgegenzuwirken. Die Werte der Federkraft sind hierfür in der Tabelle 15 dargestellt.

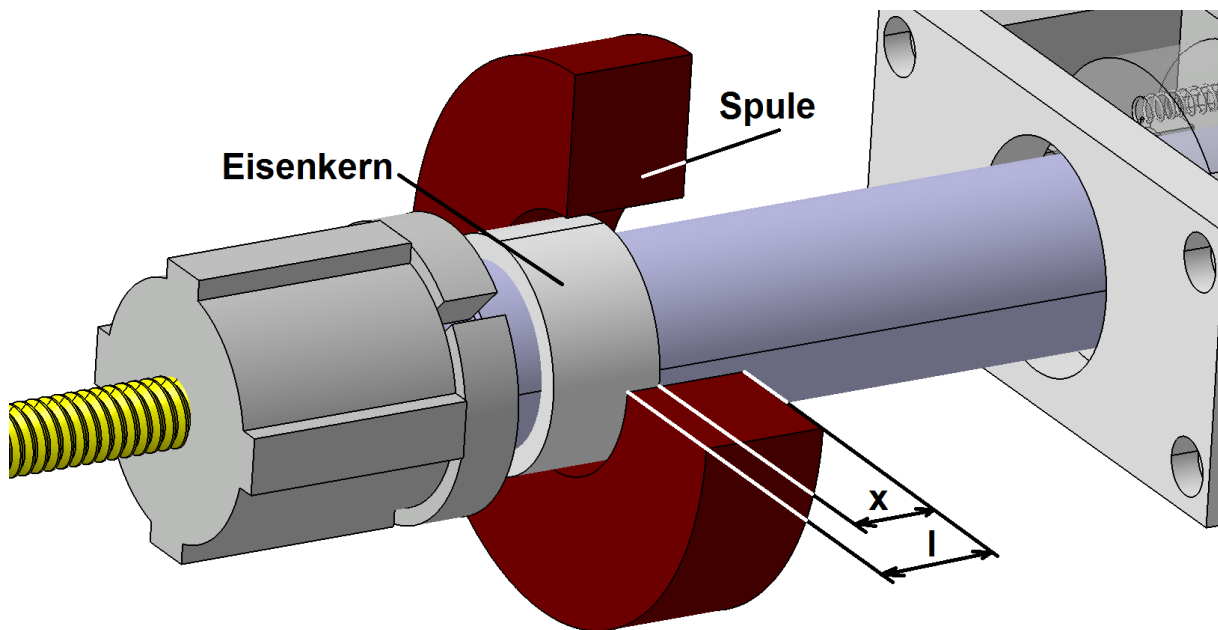


## 7. Konstruktion des Dispensors

**TABELLE 15 FEDERKRAFT ÜBERSICHT**

x [mm]	Federkraft [N]
0	0
1	1,104
2	2,208
3	3,312
4	4,416
5	5,52

Auf Basis der magnetischen Anziehungskraft, die sich nach Formel 7.16 berechnen lässt und unter der entsprechenden Vorgabe der Windungszahl  $N$  und des Wertes  $x$ , der von der Bewegung des Eisenkerns in der Spule abhängt, wurde die Tabelle 16 erstellt. Hierbei ist zu beachten, dass  $x$  der vollständigen Spulenlänge  $l$  entspricht, wenn sich der Antrieb in der Ausgangslage befindet. Dies hat den Hintergrund, dass sich der Eisenkern erst nach dem Einschalten des Antriebes in die Spule hineinbewegt und hierdurch  $x$  verringert wird. Aus diesen Grund wird  $x$  bei einer Federkraft von 0N gleich  $l$  gesetzt.



**ABBILDUNG 43 SPULENDIMENSIONIERUNG**



## 7. Konstruktion des Dispensors

## TABELLE 16 SPULENDIMENSIONIERUNG

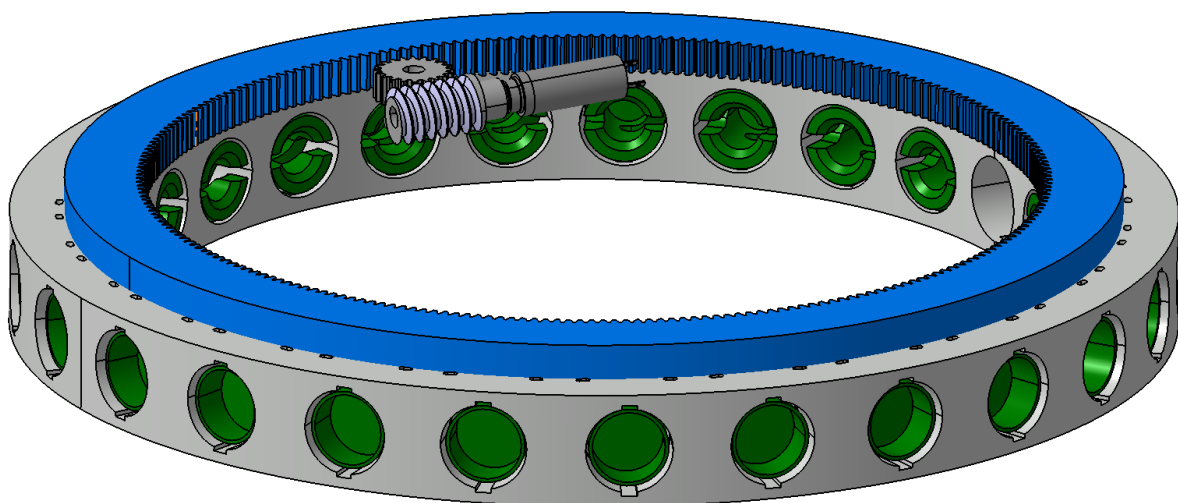
	N=1000	N=1250	N=1500	N=1750	N=2000	N=2250	N=2500
X [mm]	Magnetkraft [N]	Magnetkraft [N]	Magnetkraft [N]	Magnetkraft [N]	Magnetkraft [N]	Magnetkraft [N]	Magnetkraft [N]
22	0,53	0,83	1,20	1,63	2,13	2,69	3,32
21	0,58	0,91	1,31	1,79	2,33	2,96	3,65
20	0,64	1,01	1,45	1,97	2,57	3,26	4,02
19	0,71	1,11	1,60	2,18	2,85	3,61	4,46
18	0,79	1,24	1,79	2,43	3,18	4,02	4,97
17	0,89	1,39	2,00	2,73	3,56	4,51	5,57
16	1,01	1,57	2,26	3,08	4,02	5,09	6,29
15	1,14	1,79	2,57	3,50	4,58	5,79	7,15
14	1,31	2,05	2,96	4,02	5,25	6,65	8,21
13	1,52	2,38	3,43	4,67	6,09	7,71	9,52
12	1,79	2,79	4,02	5,47	7,15	9,05	11,17
11	2,13	3,32	4,79	6,52	8,51	10,77	13,30
10	2,57	4,02	5,79	7,88	10,30	13,03	16,09
9	3,18	4,97	7,15	9,73	12,71	16,09	19,86
8	4,02	6,29	9,05	12,32	16,09	20,36	25,14
7	5,25	8,21	11,82	16,09	21,01	26,60	32,84
6	7,15	11,17	16,09	21,90	28,60	36,20	44,69
5	10,30	16,09	23,17	31,54	41,19	52,13	64,36
N	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500
l [mm]	10	11	12	14	15	16	17
da [mm]	49,71	53,49	56,64	56,64	58,95	60,97	62,75
di [mm]	22	22	22	22	22	22	22

Bei der Auswahl der Spulenparameter muss berücksichtigt werden, dass das zur Berechnung der Magnetkraft zugrundeliegende homogene Feld in der Spule so in der Realität nicht vorhanden ist. Zudem treten neben der Federkraft noch Reibungs- und Beschleunigungskräfte unbekannter Größe auf. Aus diesen Gründen wurde der jeweiligen, auftretenden Federkraft (rot) in der Tabelle 16 eine annähernd doppelt so große Magnetkraft zugeordnet. Hierbei fällt auf, dass eine Spule mit höherer Wicklungszahl und größeren Abmessungen keinerlei Vorteile gegenüber einer kleineren Spule bietet. Dies hat den Hintergrund, dass bei einer größeren Spule nur ein geringer Bereich, im vorliegenden Fall die ersten 5mm des magnetischen Feldes genutzt werden. Aus diesen Grund werden die Dimensionierungswerte der Spule aus der ersten Spalte verwendet.

**TABELLE 17 TECHNISCHE WERTE DER SPULE**

Name	Formelzeichen	Wert	Einheit
Außendurchmesser	da	ca. 50	mm
Innendurchmesser	di	22	mm
Spulenlänge	l	10	mm
Windungszahl	N	1000	
Nennspannung	U	24	V
Nennstrom	I	1,6	A
Induktivität	L	47,77	H
Kraft	F	2,57-10,30	N

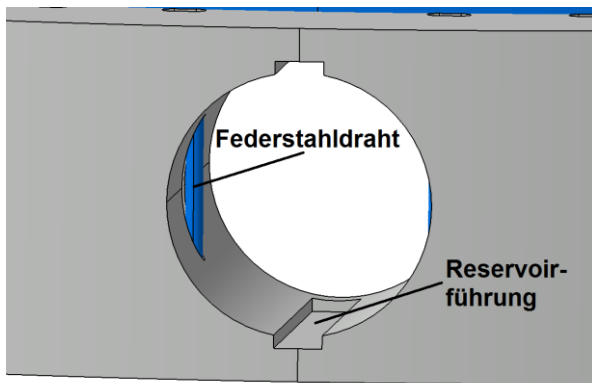
### 7.3. Magazin



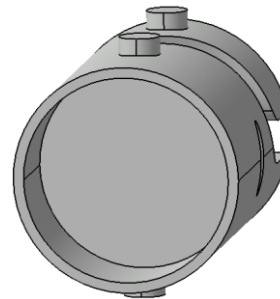
**ABBILDUNG 44 MAGAZIN-BAUGRUPPE**

## 7. Konstruktion des Dispensors

Das Magazin besteht im Wesentlichen aus einem Ring mit einem Außendurchmesser von 160mm und 25 Bohrungen, welche als Lager für die einzelnen Reservoirs dienen. Zudem ist auf dem Ring die Montage eines Innenzahnkranz vorgesehen, der über einen Motor angetrieben wird und eine Drehung des Magazins ermöglicht. Die genaue Positionierung des Magazins kann je nach Verwendungsart über einen Inkremental- oder einen Absolutwertgeber erfolgen. Ein Absolutwertgeber ist dabei von Vorteil, wenn die einzelnen Reservoirs mit Partikeln unterschiedlicher Größe bestückt werden, da diese so mit diesem System eindeutig identifiziert werden können. Sollte nur eine Größe von Partikeln pro Dispensor Anwendung finden ist hingegen ein Inkrementalgeber ausreichend, da in diesen Fall nur die Position zwischen Antrieb und Reservoir einzustellen ist.



**ABBILDUNG 45 BOHRUNG ZUR LAGERUNG VON RESERVOIRS**



**ABBILDUNG 46 RESERVOIR**

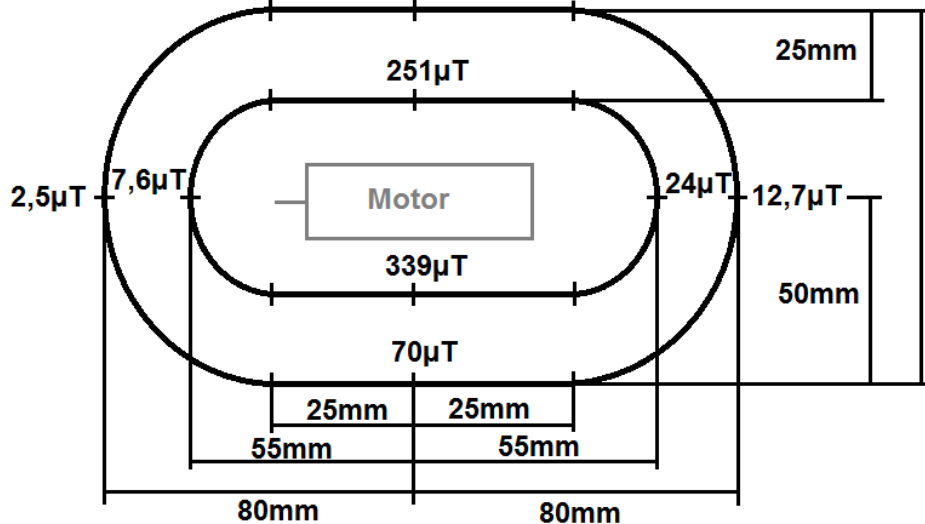
Um die Reservoirs während der Lagerung zu fixieren sind die Lagerbohrungen mit zwei Federstahldrähten ausgestattet, zwischen denen das jeweilige Reservoir eingespannt wird. Zudem besitzt jede Bohrung einen Teil der Führung, welche Teil des Kopplungssystems ist und verhindert, dass sich das Reservoir verdreht.

### 7.4. Zusätzliche Antriebe

Zur Umsetzung des beschriebenen Systems werden zwei zusätzliche Antriebe benötigt. Der Erste soll für das Aus- bzw. Einfahren der Gewindespindel verwendet werden. Der Zweite wird benötigt um das Magazin zu drehen. Durch die Verwendung von Schneckengetrieben wird von den Motoren kein Haltemoment abverlangt. Hierdurch ist die Verwendung von Schrittmotoren oder Servomotoren, die dieses liefern könnten, nicht nötig. Im Konzept vorgesehen ist die Verwendung von DC-Micro-Motoren, da diese über ein höheres Drehmoment verfügen als Piezomotoren vergleichbarer Größe.

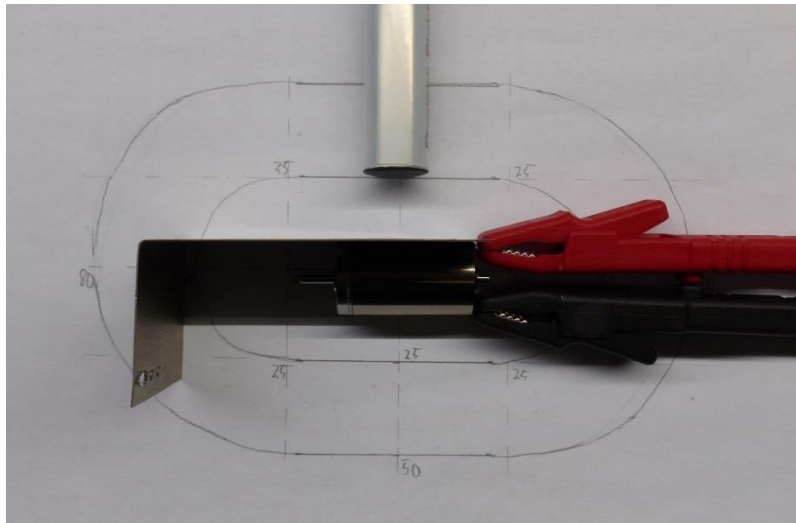
A hand-drawn diagram on a grid showing a lens-shaped region. The region is defined by two intersecting circles. The horizontal distance between the centers of the circles is 50. The radius of each circle is 25. The vertical distance from the horizontal line connecting the centers to the top of the lens is 25. The vertical distance from the horizontal line connecting the centers to the bottom of the lens is 25. The vertical distance from the horizontal line connecting the centers to the top of the lens is 25. The vertical distance from the horizontal line connecting the centers to the bottom of the lens is 25. A red and black probe is positioned vertically in the center of the lens, touching the top and bottom boundaries. A small black rod is also visible below the probe.

5

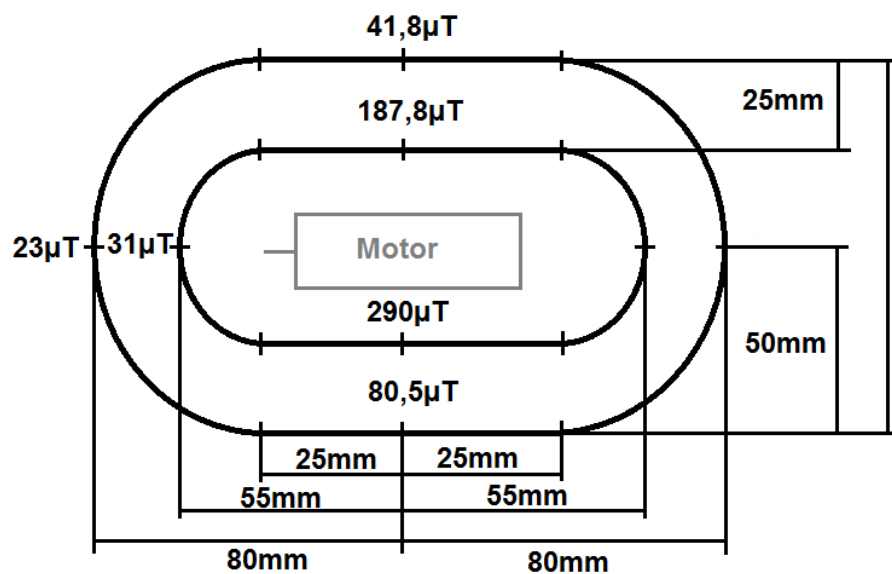


60

## 7. Konstruktion des Dispensors



**ABBILDUNG 49 MAGNETFELDSCHIRMUNG MITTELS NICKELBLECH**



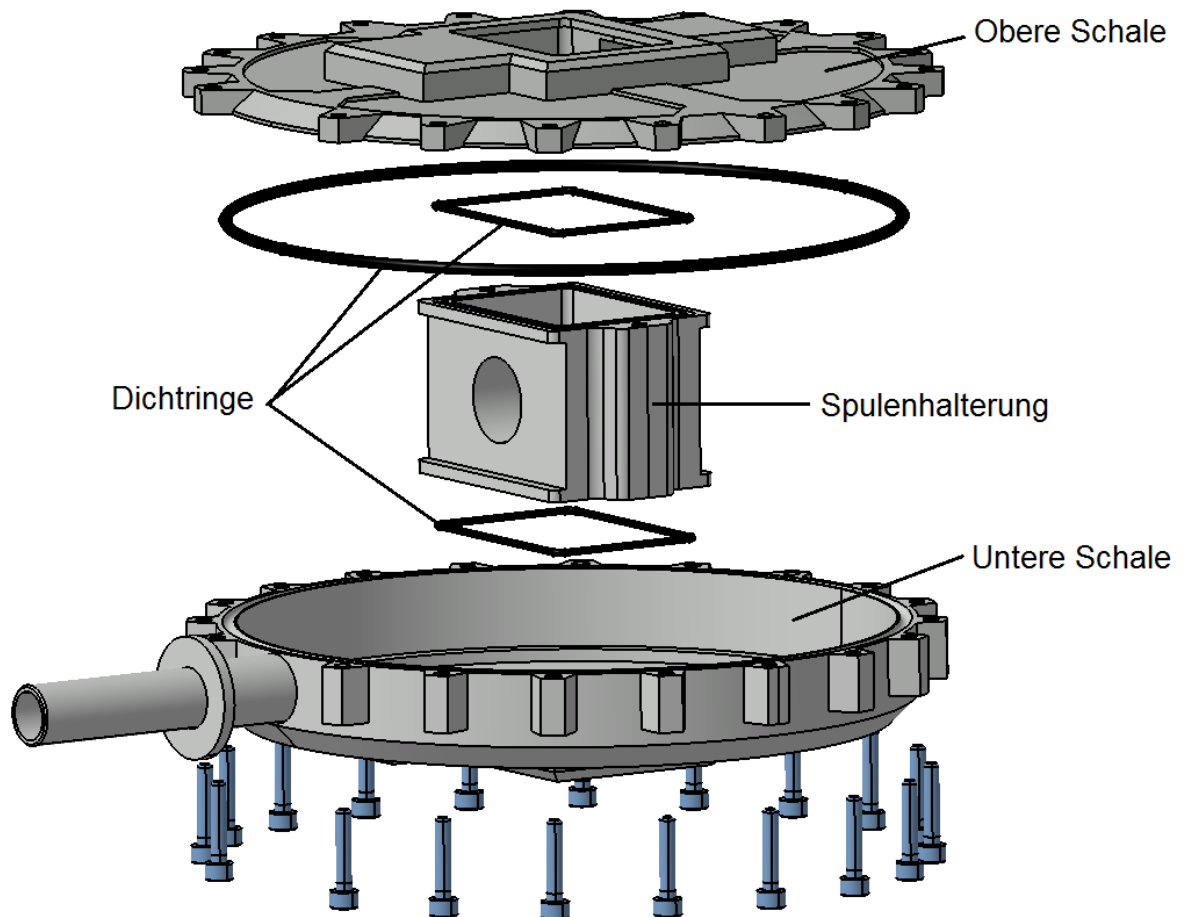
**ABBILDUNG 50 MAGNETFELDMESSUNG MIT ABSCHIRMUNG**

Im Ergebnis wurde der magnetische Fluss um ca. 25% an den Flanken des Motors gesenkt, während er an der Stirnseite zunahm. An der Anschlussseite des Motors wurde nicht gemessen, da dort kein Nickelblech positioniert werden konnte. Mit diesen Tests wurde nachgewiesen, dass sich mithilfe eines Nickelbleches das Magnetfeld beeinflussen und in bestimmte Richtungen dessen Einfluss absenken lässt.



## 7.5. Gehäuse

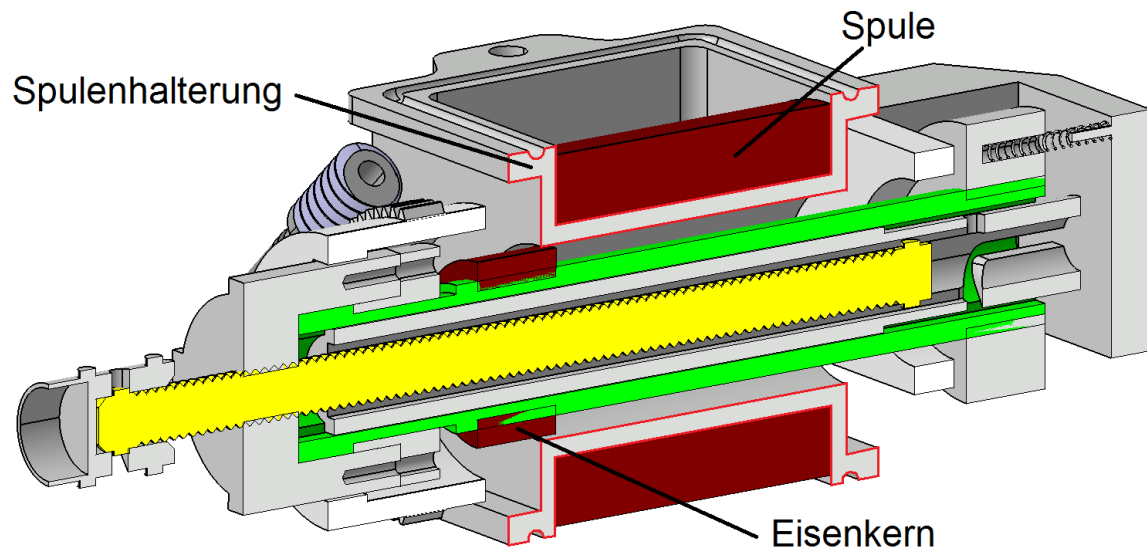
Das Gehäuse besteht, wie auf Abbildung 51 dargestellt, im Wesentlichen aus drei Aluminiumteilen. Einer Ober- und einer Unterschale und einer Spulenhalterung.



**ABBILDUNG 51 CAD-KONZEPT DER GEHÄUSEKOMPONENTEN**

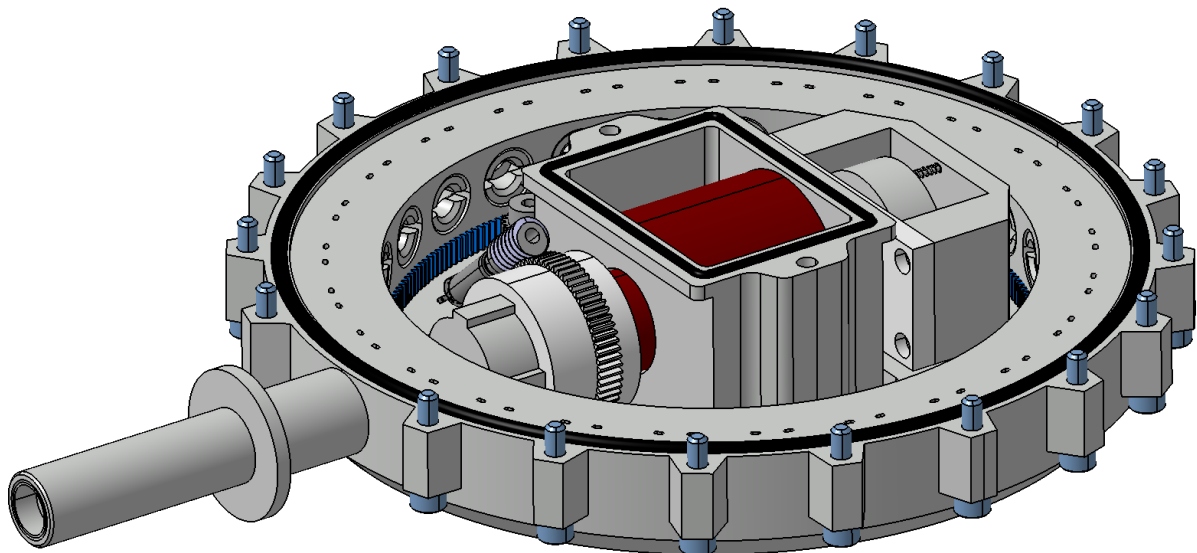
Die Spulenhalterung ist notwendig, da sich die Spule nach Möglichkeit nicht im Vakuum befinden sollte. Dies hat den Hintergrund, dass eine Spule immer ein gewisses „Totvolumen“ beinhaltet, welches nur schwer abgesaugt werden kann und somit das Erstellen eines Vakuums erschweren würde. Dieses „Totvolumen“ befindet sich in den Zwischenräumen der einzelnen Wicklungen. Da keine mechanische Verbindung zwischen Eisenkern und Spule existieren muss, wurde die Spule aus diesen Grund nach außen verlegt. Die Antriebstanke führt wie, wie auf Abbildung 52 dargestellt, durch das Gehäuse hindurch. Für die Stärke der Wandungen der Spulenhalterung wurden 0,8mm vorgesehen, sodass ein, wie in Abschnitt 7.2.3.2. festgelegter, Spuleninnendurchmesser von 22mm bei einem Eisenkerndurchmesser von 20mm möglich ist.

## 7. Konstruktion des Dispensors



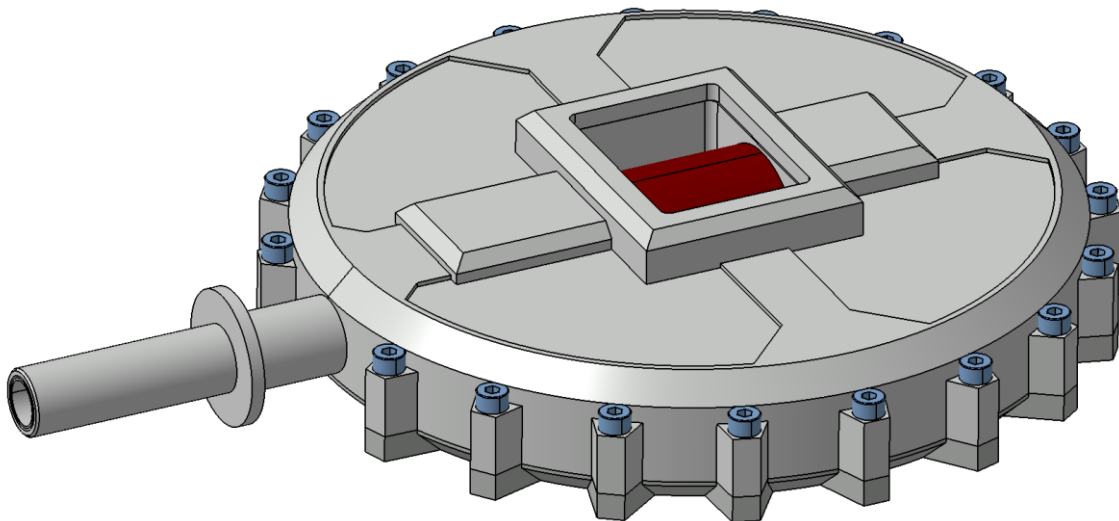
**ABBILDUNG 52 ANRIEB MIT SPULENHALTERUNG**

Um die Kontaktflächen der einzelnen Komponenten abzudichten werden auf die entsprechenden Maße angepasste Dichtringe verwendet. Insgesamt werden drei Dichtringe benötigt. Zwei für die Kontaktflächen der Spulenhalterung und eine für die Verbindung zwischen Ober- und Unterschale.



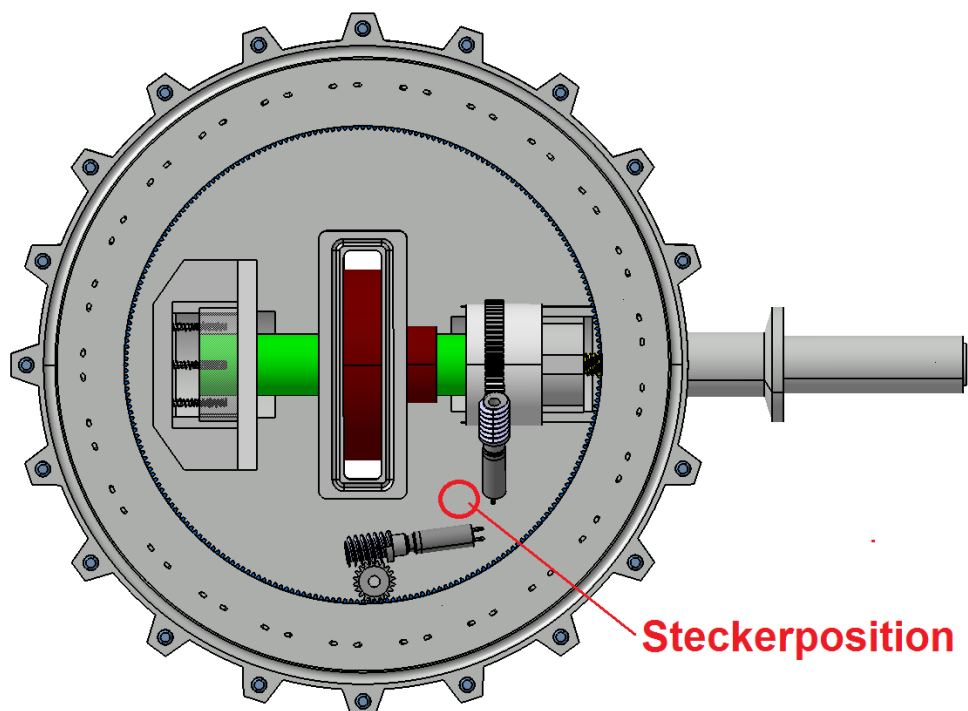
**ABBILDUNG 53 DISPENSOR MIT OFFENEN GEHÄUSE**

Als Anschluss zur Kammer dient, wie bei dem bisher verwendeten Dispensoren ein ISO-KF16-Flansch. Dieser ist allerdings in die Kammer hinein verlängert, um als Führung für das Reservoir zu dienen.



**ABBILDUNG 54 DISPENSOR MIT GESCHLOSSENEN GEHÄUSE**

Als Zugang zu den elektronische Komponenten im Inneren des Dispensor, ist eine Steckerdurchführung vorgesehen. Durch diese ist es möglich die Motoren mit Strom zu versorgt und das geplante Positionierungssystem des Magazins mit einer entsprechenden Steuerung zu verbinden. Eine mögliche Position für diesen Steckeranschluss ist auf Abbildung 55 dargestellt. Des Weiteren sollte überprüft werden, ob es Vorteile bringt einen Anschluss zur Absaugung in das Gehäuse zu integrieren, um die Erzeugung eines Vakuums zu verbessern.



**ABBILDUNG 55 STECKERPOSITION**

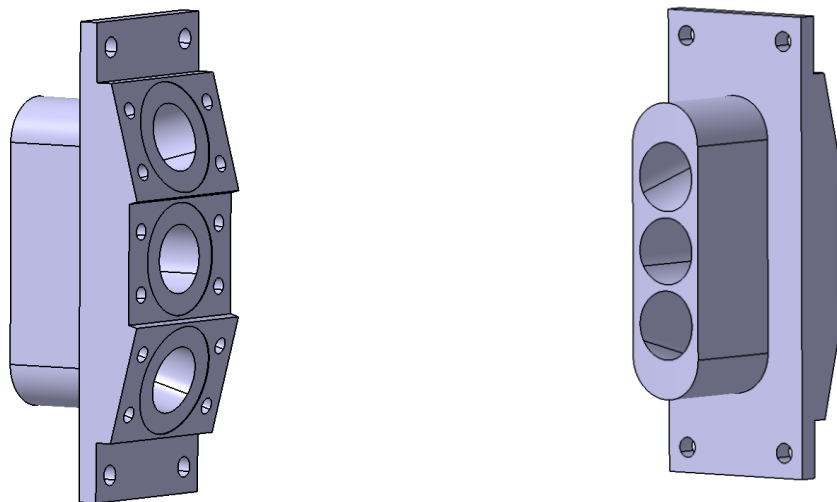


## 8. Anpassung der vorhandenen Dispensoren an die neue Kammergeometrie und Vergrößerung der Reservoirs

Da die Fertigung und entsprechende funktionelle Überprüfungen der in den vorangegangenen Abschnitten dargelegten Lösungen einen größeren Zeitraum beanspruchen, soll im nächsten Abschnitt eine schnell zu realisierende Lösung betrachtet werden. Bei diesem Konzept werden vorhandene Teile der alten Dispensoren wiederverwendet und der veränderten Geometrie der neuen Kammer angepasst. Zudem wird das Volumen eines der Reservoirs verdoppelt um eine größere Menge an Partikeln bereitstellen zu können.

### 8.1. Dispensoranpassung an die Kammergeometrie

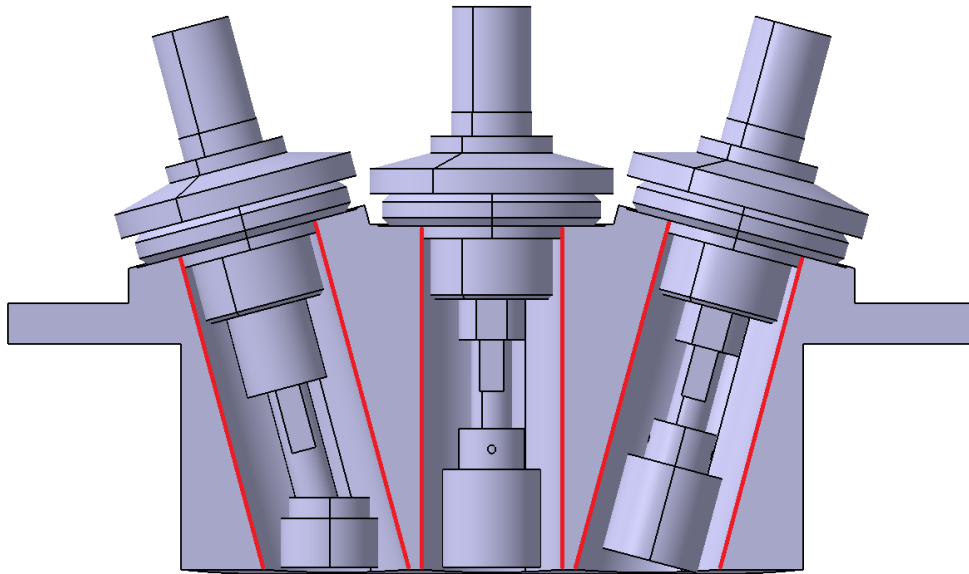
Für die neue Zyflexkammer sind vier „Chamber Injection Connector’s“ vorgesehen, welche jeweils mit drei ISO-KF16-Anschlüssen ausgestattet sind. An diese Anschlüsse können Dispensoren oder auch andere Geräte angeschlossen werden.



**ABBILDUNG 56 CHAMBER-INJECTION-CONNECTOR**

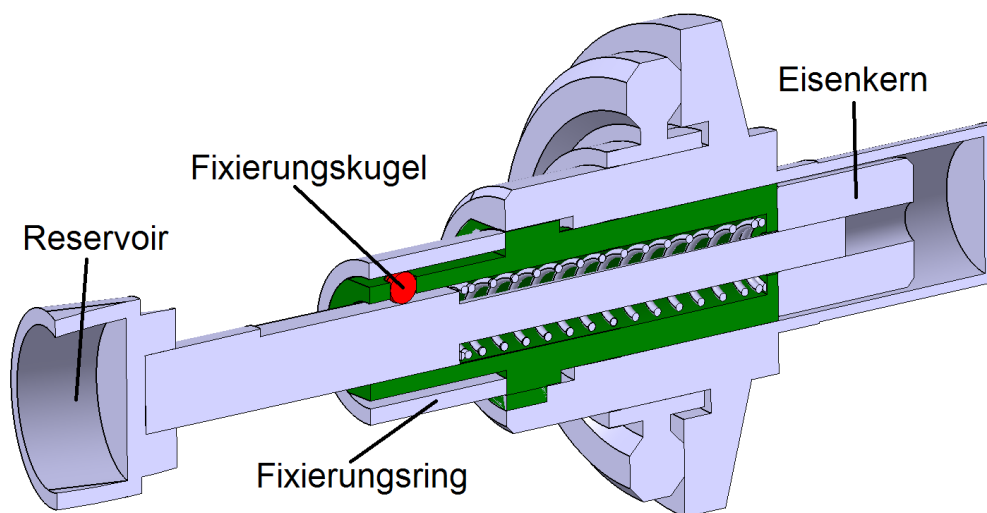
Aus konstruktiven Gründen wurden die Anschlüsse, wie auf Abbildung 56 zu sehen ist, um 15° versetzt angeordnet. Dies hat zur Folge, dass nicht mehr alle Reservoirs bündig mit der Kammerwand abschließen. Da Unebenheiten in der Kammeroberfläche zu Potenzialveränderungen im Plasma führen können soll ein Ausgleich für diesen Versatz gefunden werden. Auf Abbildung 57 ist ein Konzept zur Behebung dieses Problems zu sehen, bei dem das Reservoir des linken Dispensor um 15° geneigt wurde. Zudem sind zwei Dispensoren mit vergrößerten Reservoir dargestellt.

8. Anpassung der vorhandenen Dispensoren an die neue Kammergeometrie und Vergrößerung der Reservoirs



**ABBILDUNG 57 CHAMBER INJECTION CONNECTOR MIT UNTERSCHIEDLICHEN DISPENSORVARIANTEN**

Durch die Neigung des Reservoirs entstehen zwei Probleme. Zum einen ist es bei dieser Art von Dispensor durch den begrenzten Bauraum nicht möglich ein größeres Reservoir zu verwenden. Zum anderen muss verhindert werden, dass sich der Stift, an dem das Reservoir befestigt ist, um seine eigene Achse verdrehen kann.

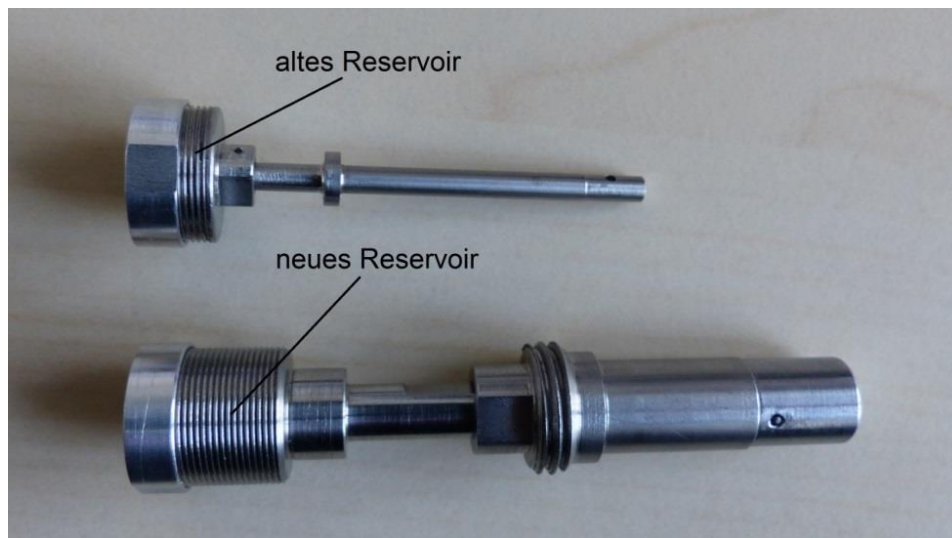


**ABBILDUNG 58 DISPENSOR IM SCHNITT**

Hierfür wurde wie auf Abbildung 58 dargestellt eine Fixierungskugel in die Konstruktion des Dispensors hinzugefügt und der Verbindungsstab zwischen Reservoir und Eisenkern an dieser Stelle abgeflacht. Durch den Druck der Kugel auf die Verbindungsstange soll so ein Verdrehen verhindert werden.

## 8.2. Vergrößerung der Reservoirs

Um die verfügbare Anzahl an Partikeln zu vergrößern wurde das Fassungsvermögen eines Dispensors mithilfe eines neuen Reservoirs verdoppelt. Zudem wurde zur Anpassung an die neue Kammergeometrie die Antriebsstange verlängert. Auf der Abbildung 59 ist zum Vergleich der neue und der alte Dispensorkopf abgebildet.



**ABBILDUNG 59 VERGLEICH ALTER UND NEUER DISPENSORKOPF**

### 8.2.1. Funktionsprüfung des vergrößerten Reservoirs

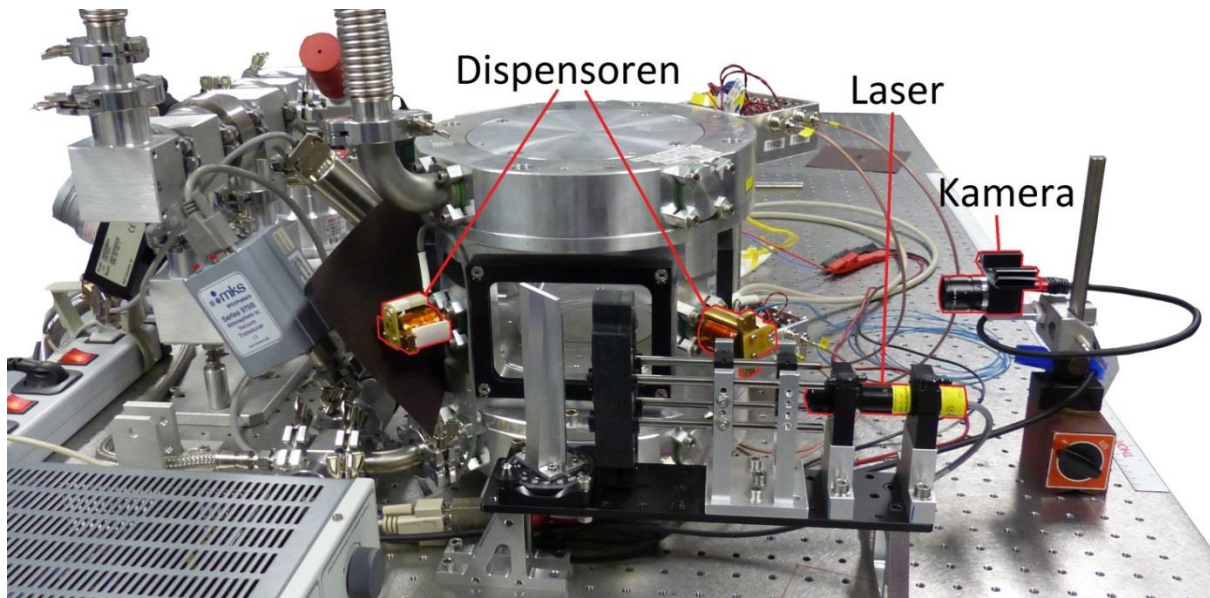
Da nicht bekannt ist, wie sich die Partikel in einem größeren Reservoir verhalten, soll dies überprüft werden. Durch die Verdoppelung der Kammerlänge müssen die Partikel nun ebenfalls die doppelte Wegstrecke zurücklegen, um durch das Sieb in die Kammer zu gelangen. Überprüft werden soll, ob die durch einen Impuls ausgeübte Kraft auf die Partikel hierfür ausreichend ist. Zudem soll untersucht werden, ob Veränderungen bei den technischen Eigenschaften des Dispensors auftreten.



8. Anpassung der vorhandenen Dispensoren an die neue Kammergeometrie und Vergrößerung der Reservoirs

### 8.2.2. Versuchsaufbau

Für den Versuch wurden ein unveränderter Dispensor und der Dispensorprototyp mit vergrößertem Reservoir, wie auf Abbildung 60 zu sehen, in die stationär im Labor befindliche Plasmakammer verbaut.

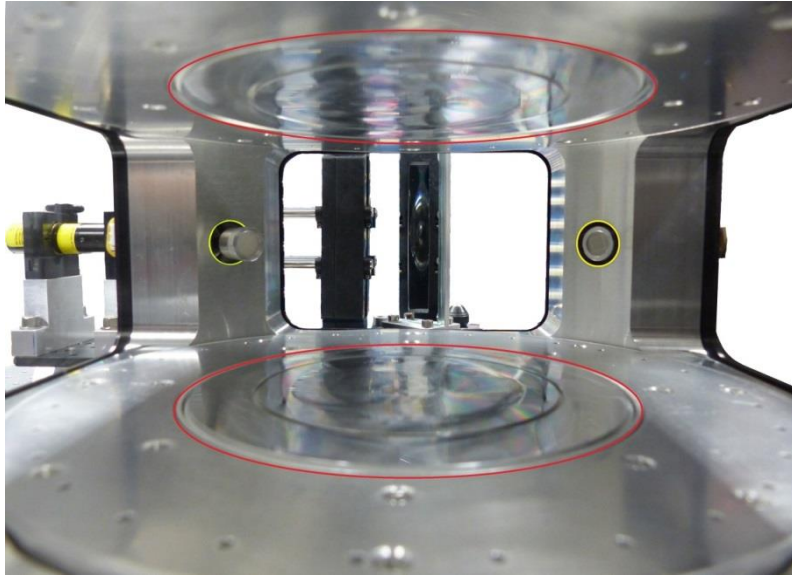


**ABBILDUNG 60 VERSUCHSAUFBAU**

Beide Dispensoren sollen nacheinander Partikel in die Kammer abgeben, was von einer Kamera außerhalb der Kammer aufgenommen wird. Um die Partikel im Plasma besser sichtbar machen zu können wird zudem ein Laserstrahl durch die Kammer geführt. Der Laser ist dabei breitgefächert und „durchschneidet“ dabei längs das Plasma.

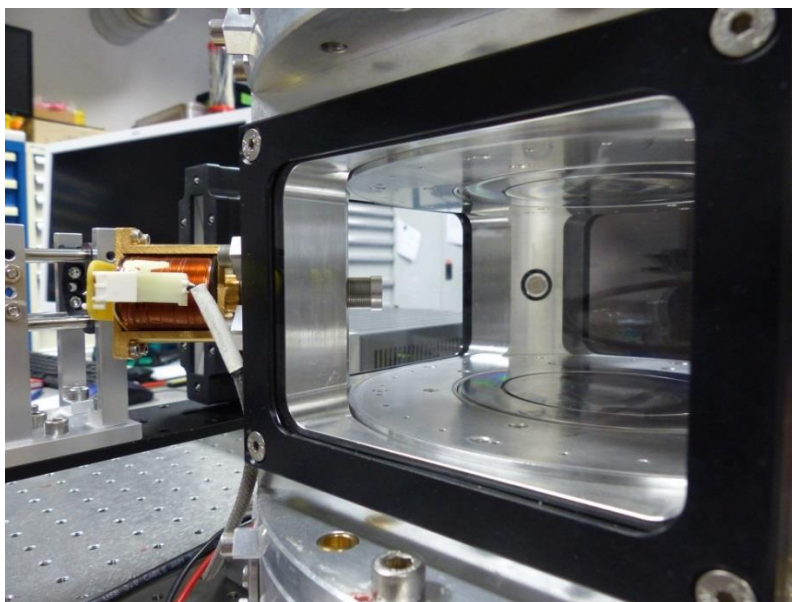
Auf Abbildung 63 ist das Innere der Plasmakammer zu sehen. Hier zuerkennen sind die beiden rot umrahmten Elektroden, zwischen denen das Plasma erzeugt wird, sowie, gelb eingerahmt, die beiden Dispensoren. Dabei ist zu erkennen, dass der neue Dispensor in die Kammer hineinragt. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass dieser bereits der Geometrie der neuen Kammer angepasst ist. Auf die Funktionsüberprüfung hat dies allerdings keine Auswirkungen. Im Hintergrund, außerhalb der Kammer, ist zudem der Spiegel zu erkennen, mit dem der Laser in die Kammer projiziert wird.





**ABBILDUNG 61 PLASMAKAMMER INNENANSICHT**

Die Abbildung 64 zeigt noch einmal den eingebauten Dispensorprototypen. Hier ist deutlich zu erkennen, dass der Dispensorkopf in die Kammer hineinragt, jedoch einen verhältnismäßig großen Abstand zu den Elektroden aufweist.

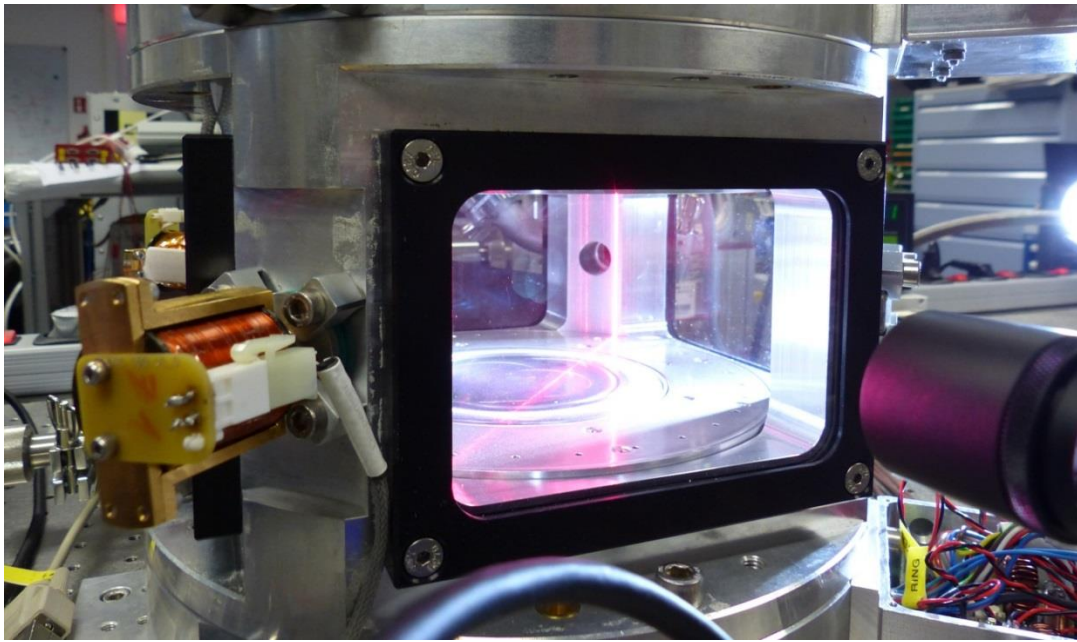


**ABBILDUNG 62 EINGEBAUTER DISPENSOR**

### 8.2.3. Versuchsauswertung

Zum Test wurden hintereinander erst der neue und danach, zum Vergleich, der alte Dispensor angesteuert. In der Kammer wurde zuvor ein Plasma gezündet um die realen Bedingungen eines Experiments herzustellen. Um die Partikel besser sichtbar machen zu können, wurde der unter Abschnitt 8.1.2. beschriebene Laser eingesetzt.

8. Anpassung der vorhandenen Dispensoren an die neue Kammergeometrie und Vergrößerung der Reservoirs



**ABBILDUNG 63 VAKUUMKAMMER MIT EINGESCHALTETEN LASER UND PLASMA**

Es war bei dem Versuch zu erkennen, dass der neue Dispensor im Verhältnis zu dem alten Dispensor nur sehr wenig bis gar keine Partikel abgibt, was darauf zurück zu führen ist, dass sich der neue Dispensorkopf, durch die Verwendung des alten Gehäuses, nur in einem Bereich von 5mm bewegen kann.



**ABBILDUNG 64 NEUE UND ALTE DISPENSORKOPFAUFNAHME**



**ABBILDUNG 65 VERGLEICH ZWISCHEN URSPRÜNGLICHEN UND ANGEPASSTEN DISPENSOR**

Um dies zu ändern wurde die auf Abbildung 64 und Abbildung 65 gezeigte, veränderte Dispensorkopfaufnahme angefertigt, die es ermöglicht, dass sich der Eisenkern und das Reservoir nun um 10mm anstatt um 5mm bewegen lässt.

Bei Versuchen mit dem angepassten Dispensor wurde festgestellt, dass bei diesen keine Bewegung des Reservoirs stattfand. Um dieses Phänomen zu untersuchen, wurde deshalb der Dispensor zerlegt und die einzelnen Komponenten einer Funktionsprüfung unterzogen. Ergebnis dieser Überprüfung war, dass keine Fehlfunktion an den einzelnen Teilen vorlag. Dafür wurde festgestellt, dass sich das Magnetfeld innerhalb der Spule durch die Vergrößerung des mit Vakuum gefüllten Raums, verringert hat. Die einzige Möglichkeit um dieses Defizit auszugleichen würde darin bestehen, eine neue, angepasste Spule anzufertigen, die in der Lage ist ein größeres Magnetfeld zu erzeugen. Da dieses allerdings einen größeren Zeitraum in Anspruch nehmen wird, wird dies für diese Versuchsreihe nicht umgesetzt.



## 9. Versuche zu der Kinematik und der Ansteuerung der vorhandenen Dispensoren

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit verschiedenen Versuchen, welche die kinematischen Eigenschaften der vorhandenen Dispensoren untersuchen und Grenzwerte für deren Ansteuerung festlegen sollen.

### 9.1. Bewegungseigenschaften im Betrieb

Bei vergangenen Versuchen wurde beobachtet, dass sich die Reservoirs der Dispensoren nicht rein Axial bewegen, sondern auch in andere Richtungen ausschlagen können. Dabei ist unklar, ob es sich um Verformungen einzelner Teile der Dispensoren handelt oder ob optische Täuschungen während der Kameraaufnahmen für diese Beobachtung verantwortlich sind. Um dies zu überprüfen wurde ein Versuch mit einer High-Speed-Kamera durchgeführt, bei der ein freistehender Dispensor im Betrieb in Zeitlupe aufgenommen wurde. Zudem wurde dieser Versuch dazu verwendet die maximale Frequenz zur Ansteuerung des Dispensors zu ermitteln. Die Durchführung dieses Tests hat den Hintergrund, dass ab einer bestimmten Frequenz die Reaktionszeiten der mechanischen Komponenten nicht mehr ausreichend sind, um auf das Steuersignal zu reagieren. Dies führt dazu dass das Reservoir, trotz korrekter Ansteuerung, an einem Punkt verharrt oder sich nur noch geringfügig bewegt, sodass keine Partikel in die Kammer abgegeben werden können. Zur zusätzlichen Überwachung werden für diesen Versuchen der Strom und die Spannung mittels Oszilloskop überwacht.

#### 9.1.1. Versuchsaufbau

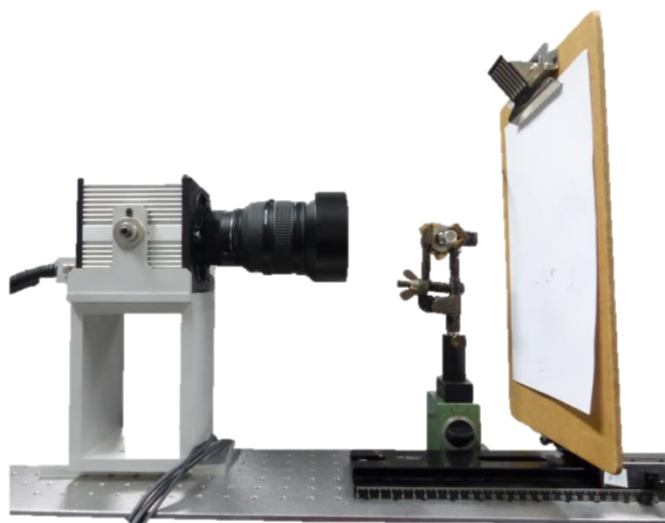


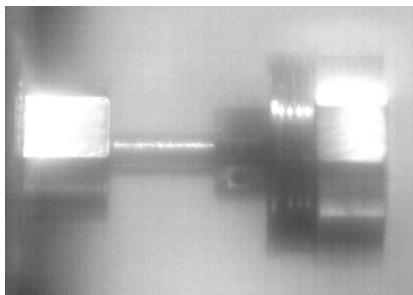
ABBILDUNG 66 VERSUCHSAUFBAU „BEWEGUNGSEIGENSCHAFTEN“

## 9. Versuche zu der Kinematik und der Ansteuerung der vorhandenen Dispensoren

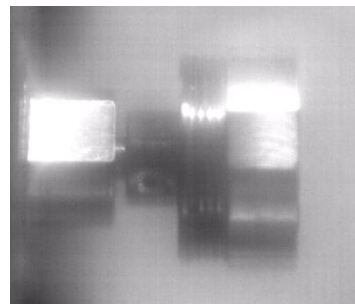
Zur Durchführung des Versuchs wird, wie in Abbildung 66 dargestellt, ein Dispensor in eine Haltevorrichtung montiert und von der High-Speed-Kamera des Labors PK-3 Plus im laufenden Betrieb aufgenommen. Bei der Kamera handelt es sich um eine Photron Fastoam-X, Model 100 K.

### 9.1.2. Versuchsauswertung

Für den ersten Teil des Versuches wurden mit dem Dispensor zehn „Schüsse“ in schneller Abfolge hintereinander ausgelöst. Diese wurden mit einer Bildfrequenz von 19000 Bildern in der Sekunde gefilmt. Hierbei war zu erkennen, dass keinerlei Materialverformungen im normalen Betrieb auftreten. Dies lässt darauf schließen, dass die beobachteten Bewegungen, auf einen optischen Effekt zurückzuführen sind. Die Abbildungen 67 und 68 zeigen zwei Ausschnitte der Aufnahmen in denen sich der Dispensor einmal in der Ausgangslage und einmal im gespannten Zustand dargestellt wird.



**ABBILDUNG 67 DISPENSOR IN AUSGANGSLAGE**



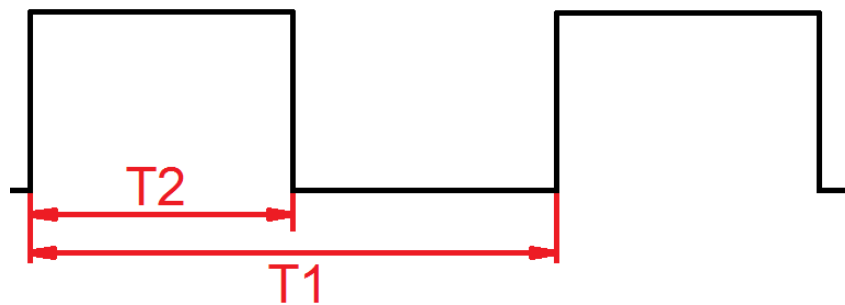
**ABBILDUNG 68 DISPENSOR GESPANNT**

## 9.2. Ermittlung der Kennwerte zur Ansteuerung der Dispensoren

### 9.2.1. Untersuchung der Frequenz mittels High-Speed-Aufnahmen

Im zweiten Teil des Versuches wurde die maximale Frequenz ermittelt, bei der ein Dispensor seine Funktion noch erfüllen kann. Hierzu wurde der gleiche Versuchsaufbau wie unter Abschnitt 9.1.1. verwendet.

Zunächst ist zu erwähnen, dass über das Ansteuerungsprogramm die Frequenz mithilfe der auf Abbildung 69 dargestellten Zeiten T1 und T2 erzeugt wird. T1 ist hierbei als Periode und T2 als On-Time deklariert.

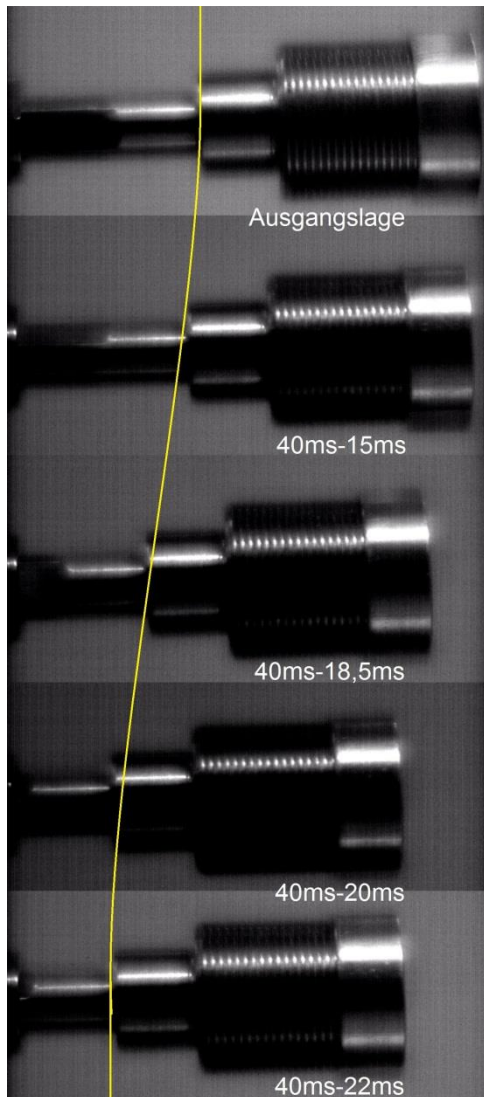


**ABBILDUNG 69 SIGNALDARSTELLUNG**

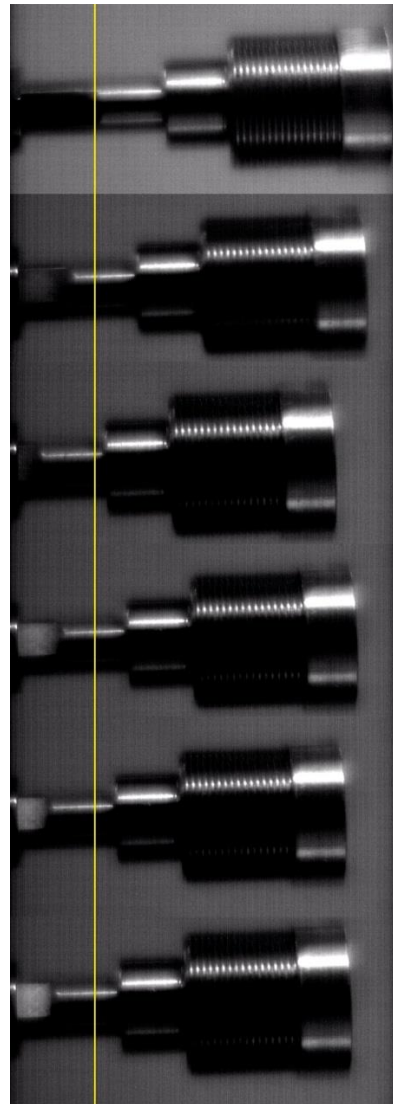
Zur Überprüfung der Trägheit des Systems wurde in den folgenden Versuchen nur  $T_2$  geändert. Die Periodendauer  $T_1$  hingegen wurde so groß gewählt, dass das System genügend Zeit hat in den Anfangszustand zurück zu kehren.  $T_2$  wurde dabei bei jeden Versuchsdurchgang um 0,5ms erhöht. Beobachtet wurde, wie weit das Reservoir bei den jeweiligen Versuchszeiten in den Dispensor hineingezogen und somit gespannt wurde. Auf Abbildung 70 sind die maximalen Verschiebungen mit den jeweiligen Zeiten dargestellt. Zu erkennen ist, dass bei  $T_2 = 15\text{ms}$  sich das Reservoir nur noch geringfügig bewegt. Bei noch kleiner gewählten Zeiten war hingegen keinerlei Reaktion zu erkennen. Vollständig gespannt wurde der Dispensor erst bei  $T_2 = 20\text{ms}$ , weshalb dieses als maximale Grenze für diesen Wert betrachtet werden kann. Für den Versuch auf den Abbildungen 70 und 71 wurde der Dispensor mit vergrößertem Magazin und der ursprünglichen Dispensorkopfaufnahme verwendet. Grund dafür ist, dass die Versuchsreihe durchgeführt wurde, bevor der Umbau, der in Abschnitt 8.2.3. beschrieben wurde, stattfand. In einen späteren Versuch, der in Abschnitt 9.2.2. näher betrachtet wird, wurde jedoch nachgewiesen, dass die beobachteten Reaktion des veränderten und des unveränderten Dispensors annähernd übereinstimmen. Von diesem Versuch konnten jedoch keine Aufnahmen gemacht werden, da bei diesem die High-Speed-Kamera nicht mehr zur Verfügung stand.



## 9. Versuche zu der Kinematik und der Ansteuerung der vorhandenen Dispensoren



**ABBILDUNG 70 VERSUCHE MIT VERSCHIEDEN ON-TIME VARIANTEN**



**ABBILDUNG 71 VERSUCH MIT 40MS – 19MS**

Auf der Abbildung 71 ist zu sehen, dass sich das Reservoir bei einer Versuchszeit von 19ms nicht einheitlich verhält. Dies wurde in einer längeren Versuchsreihe nochmals überprüft. Ein genauer Grund hierfür konnte jedoch nicht festgestellt werden. Da dieses Phänomen bei einer Zeit von 20ms oder höher, nicht mehr auftrat, wurde dieses jedoch als nichtproblematisch eingestuft, da 20ms als die Untergrenze für die On-Time festgelegt wurde.



### 9.2.2. Untersuchung der Frequenz mittels Spannungs- und Stromverlauf

Zur weiteren Untersuchung der Periodendauer und der On-Time wurde der Spannungs- sowie der Stromverlauf mit nachfolgender Schaltung (Abbildung 72) gemessen.

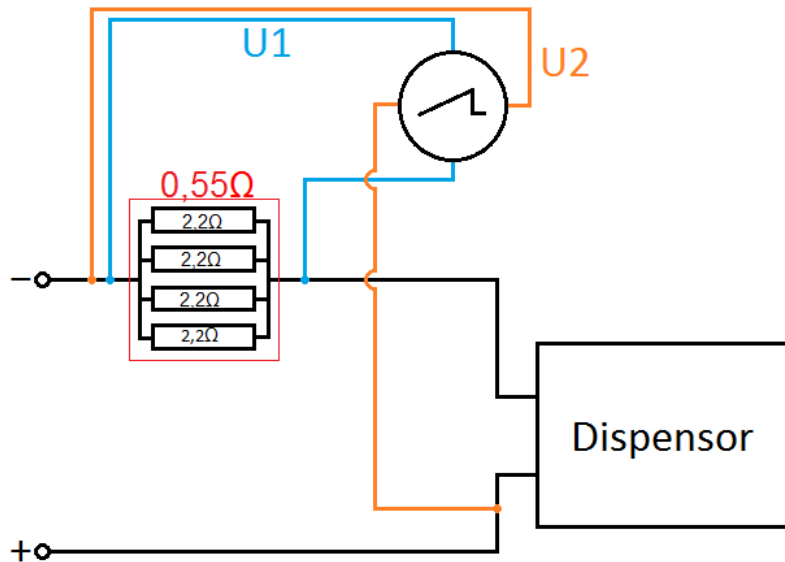


ABBILDUNG 72 MESSSCHALTUNG

Hierbei wurden mittels eines Oszilloskop die Spannungen U1 und U2 überwacht. Zur Bestimmung des Stroms wurden vor dem Dispensor vier parallel geschaltete Widerstände mit einem Wert von  $2,2\Omega$  geschaltet, welche sich mit nachfolgender Formel zusammenfassen lassen:

$$\frac{1}{R_{Ges}} = 4 * \frac{1}{R} \rightarrow R_{Ges} = \frac{R}{4} \quad (8.1)$$

$$R_{Ges} = \frac{2,2\Omega}{4} = 0,55\Omega$$

Mithilfe des ohmschen Gesetzes ist es nun möglich den Strom wie folgt zu bestimmen:

$$U = R * I \rightarrow I = \frac{U}{R} \quad (8.2)$$

$$I = \frac{U1}{R_{Ges}} = \frac{U1}{0,55\Omega}$$

Der Spannungsverlauf hingegen kann normal über U2 abgelesen werden.

## 9. Versuche zu der Kinematik und der Ansteuerung der vorhandenen Dispensoren



**ABBILDUNG 73 VERSUCH MIT 40MS/20MS**

Wie auf Abbildung 73 zu erkennen ist, bildet die Eingangsspannung (gelb) ein Rechtecksignal, welches beim Abschalten eine Spannungsspitze mit umgekehrter Polarität aufweist. Dies ist ein für Spulen typisches Verhalten, hervorgerufen durch einer der Betriebsspannung entgegenwirkenden Induktionsspannung. Der Strom (blau) zeigt hingegen ein umgekehrt exponentielles Verhalten, welches ebenfalls durch die wirkende Induktionsspannung erklärt werden kann, die eine sprunghaft Veränderung die Stromstärke verhindert. Der Spitzenwert des Stroms beträgt dabei nach Formel 8.2:

$$I = \frac{0,9V}{0,55\Omega} = 1,64A$$

Dieser Wert entspricht den gegebenen Parametern der Spule.

Da die negativen Spannungsspitzen Schäden an der Steuerung verursachen können, wurde für die folgenden Untersuchungen, wie auf Abbildung 74 dargestellt, eine Freilaufdiode vom Typ SB 560 in die Schaltung integriert.

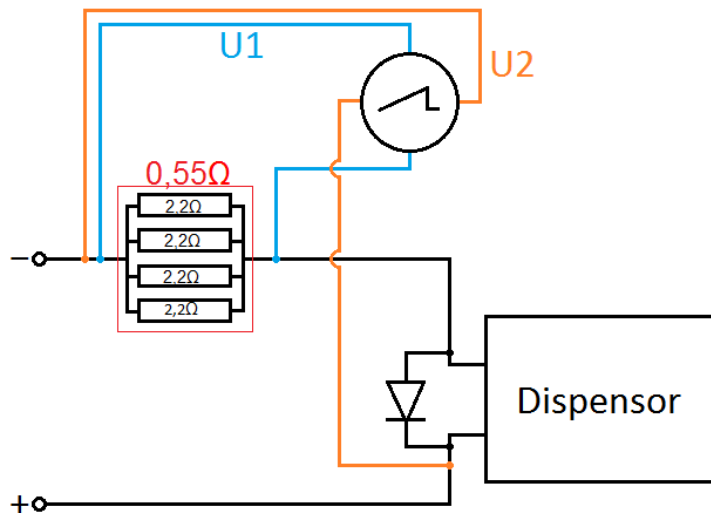


ABBILDUNG 74 MESSSCHALTUNG MIT DIODE

Mit dieser Diode ist es möglich die Spannungsspitzen, wie auf Abbildung 75 ersichtlich, zu neutralisieren. Jedoch ist auffällig, dass die gemessene Spannung U1 nach dem ersten Impuls nicht mehr bei 0V startet sondern mit einen Offset versehen ist. Dieser Offset entsteht dadurch, dass die Spule nicht mehr die Möglichkeit hat ihr Magnetfeld vollständig abzubauen und hierdurch Energie gespeichert wird. Zudem ist auf Abbildung 75 zu erkennen, dass die Spannung bei dem zweiten und dritten Impuls nach ca. 15ms leicht abfällt.



ABBILDUNG 75 VERSUCH MIT 40MS/20MS UND NACHGERÜSTETER DIODE

Um diesen Effekt genauer zu untersuchen wurde die On-Time, bei einen weiteren Versuchsdurchgang, auf 25ms erhöht. Dieser ist auf Abbildung 76 dargestellt.

## 9. Versuche zu der Kinematik und der Ansteuerung der vorhandenen Dispensoren



**ABBILDUNG 76 VERSUCH MIT 40MS/25MS UND NACHGERÜSTETER DIODE**

Zu erkennen ist, dass die Spannung und somit auch der Strom leicht abfällt und nach ca. 4ms wieder beginnt zu steigen. Dieses Verhalten kann mithilfe des Induktionsgesetzes erklärt werden, welches besagt, dass durch eine Veränderung des Magnetfeldes eine Spannung in einer Spule induziert wird. Die Veränderung des Magnetfeldes wird hierbei durch die Bewegung des Eisenkerns verursacht. Dieser kommt nach ca. 20ms in seiner Endlage zum Stehen, was mit den Beobachtungen unter Abschnitt 9.2.1. übereinstimmt. Hierdurch fällt die durch die Bewegung induzierte Spannung ab diesen Zeitpunkt ab.

In den folgenden Versuchen wurde der Aufbau weiter geändert und die vier parallelen Widerstände durch einen einzelnen  $1\Omega$  Widerstand ersetzt. Durch den veränderten Widerstand entsprechen die Werte von  $U_1$  (bei diesen Versuch gelb), nach der Formel 8.2, gleichzeitig dem gemessenen Strom.

Im Versuch, der auf Abbildung 77 dargestellt ist, wurde die Periode auf 80ms verlängert und die Auflösung des Oszilloskop erhöht um die Induktionsspannung näher betrachten zu können. Zudem wurde ein anderer Dispensor verwendet, wodurch sich die Werte leicht von den vorherigen unterscheiden können. Zu erkennen ist, dass der Strom nach etwa 23ms sein erstes Hoch erreicht und nach kurzzeitigem Absinken, nach etwa 45ms konstant bleibt. Zudem ist zu erkennen, dass der Strom nach dem Ausschalten ca. 15ms benötigt um auf den Wert 0 zurückzufallen. Der geringe Ausschlag dabei zeigt an, dass der Eisenkern 10ms benötigt um in seine Ausgangslage zurückzukehren.

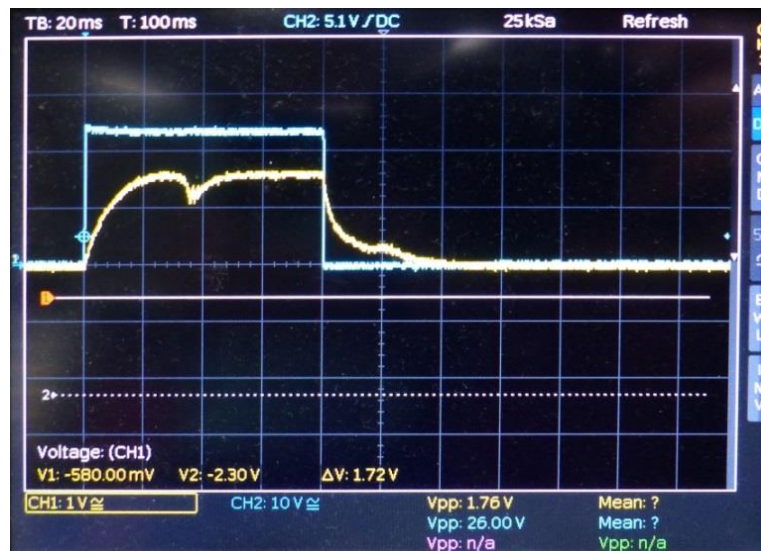


ABBILDUNG 77 VERSUCH MIT EINZELSCHUSS VON 80MS/20MS

Für eine nähere Untersuchung wurde im nächsten Schritt der Eisenkern des Disensors einmal in der Ausgangslage und einmal in der Endlage festgesetzt. Hierdurch konnte das Verhalten der Spule mit und ohne Eisenkern betrachtet werden. Die entsprechenden Kurven sind auf Abbildung 78 und 79 zu sehen. Zu erkennen sind die verschiedenen Anstiege des Stroms, was auf die unterschiedliche Induktivität der Spule mit und ohne Eisenkern zurückzuführen ist.



ABBILDUNG 78 DISPENSOR OHNE EISENKERN



## 9. Versuche zu der Kinematik und der Ansteuerung der vorhandenen Dispensoren



ABBILDUNG 79 DISPENSOR MIT EISENKERN

Die Induktivität, sowie das Magnetfeld der Spule ändert sich demnach durch die Bewegung des Eisenkern, sowie durch den Aufbau der Induktionsspannung innerhalb der Spule. Beschrieben werden kann dies durch folgende Formel:

$$U_{Ind}(t) = -N * \frac{d\Phi}{dt} = -N * \left( \frac{dL(t)}{dt} * i(t) + \frac{di(t)}{dt} * L(t) \right) \quad (8.4)$$

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, wie sich der Dispensor bei mehreren schnell hintereinander abgegebenen Impulsen verhält. Auf Abbildung 80 ist dabei gut zu erkennen, dass sich, bei einer zu engen Staffelung der Impulse, das elektromagnetische Feld in der Spule nicht vollkommen abbauen kann.

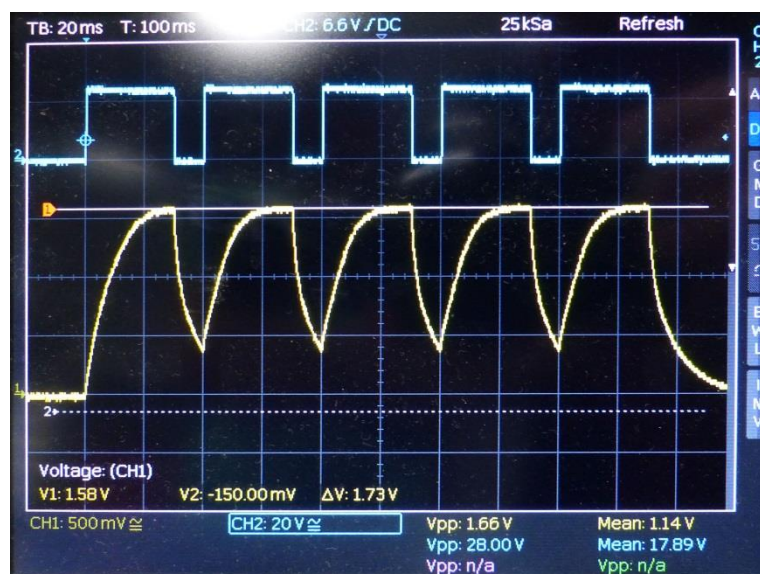
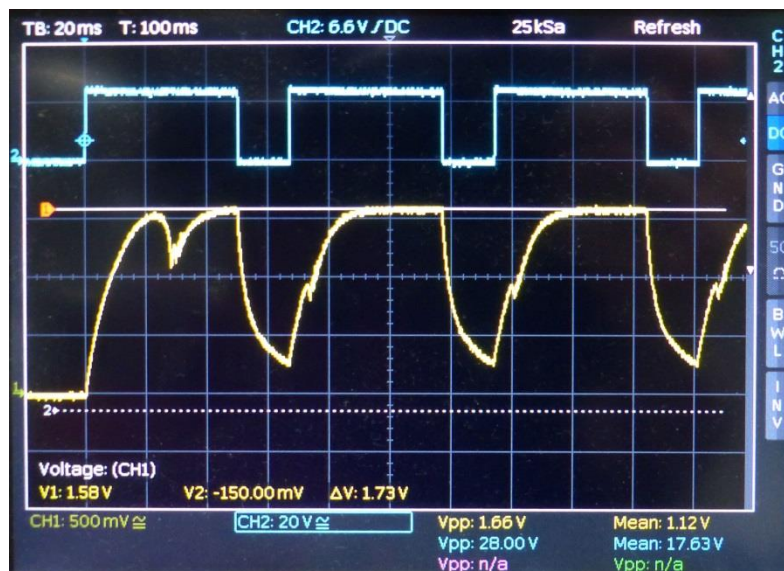


ABBILDUNG 80 DISPENSOR OHNE EISENKERN MIT MEHRFACH IMPULSEN

Dies führt zu einer verminderten Bewegung des Eisenkerns. Wird die Taktzeit zwischen den Impulsen zu weit verkürzt, wird das Magnetfeld beinahe statisch und der Eisenkern verbleibt über die gesamte Impulsfolge in der Endlage. Hierdurch ist die Funktion des Dispensors nicht mehr gegeben.



**ABBILDUNG 81 GRENZBEREICH DER IMPULSFOLGE**

Die Grenze für die Zeit zwischen den Impulsen wurde durch eine Versuchsreihe, bei einem Wert von 20ms ermittelt. Der Grenzfall ist dabei auf Abbildung 81 zu sehen. Hier wird während des Versuchsdurchgangs der Eisenkern nur innerhalb des ersten Impuls bewegt, während bei den folgenden Impulsen nur eine minimale Offsetspannung durch die Bewegung des Eisenkerns zu erkennen ist. Die Zeit zwischen den Impulsen betrug hierbei 18ms.

Zu empfehlen ist daher, dass sowohl für die On-Time, sowie für die Zeit zwischen den Impulsen, ein Wert gewählt werden sollte der höher als 20ms ist, um die Funktion der Dispensoren zu gewährleisten.

### 10. Ausblick

Zur Fertigstellung des neuen Dispensors stehen noch folgende Arbeiten an:

- Anpassung des Gehäuses des neuen Dispensors
- Auswahl und Integrierung von verschiedenen Lagern
- Erstellung einer Steuerung zum Drehen und positionieren des Reservoir-Magazins
- Fertigung aller Komponenten außer der Antriebsstange und des Innenläufers.
- Erstellung einer Belastungsanalyse und Durchführung eines Shakertest zur Simulation eines Raketenstarts
- Inbetriebnahme und Tests der einzelnen Funktionen

Zu überprüfen ist außerdem, welche Materialien für den Einsatz auf der internationalen Raumstation verwendet werden sollten. So ist die Verwendung von Titan oder speziellen Keramiken für den Bau eines Prototypen, aus Kostengründen nicht sinnvoll. Nach einem Test der einzelnen Funktionen an einem Prototypen unter Schwerelosigkeitsbedingungen, wie sie beispielsweise bei einem Parabellflug herrschen, sollte jedoch dieser Schritt folgen, um die Lebensdauer und das Gewicht der einzelnen Komponenten weiter zu optimieren. Zudem sollten die unter Abschnitt 8. beschriebenen Grenzwerte für die Periodendauer und die On-Time für den neuen Dispensor ermittelt werden, um einer fehlerhaften Anwendung vorzubeugen. Weiterhin ist angedacht eine angepasste Spule für den Dispensor mit vergrößerten Reservoir zu entwerfen und einige der aktuellen Dispensoren, wie unter Abschnitt 8.1 beschrieben, mit einem geeigneten Reservoir auszustatten.



## 11. Fazit und Zusammenfassung

### 11.1. Zusammenfassung

Wie in der Aufgabenstellung gefordert wurde in dieser Arbeit zunächst das vorhandene System zur Einstreuung der Partikel in die Vakuumkammer analysiert. Hierzu wurden die Vorgängerlabore sowie das derzeit in Entwicklung befindliche Labor Ekoplasma vorgestellt. Zudem wurde eine Übersicht über die technischen Details der einzelnen Komponenten der bisher verwendeten Dispensoren erarbeitet. Der darauf folgende Abschnitt beschäftigt sich mit der Umsetzung eines Systems, dass auf die Anforderungen des neuen Labors zugeschnitten ist. Hierzu wurden diese Anforderungen zunächst gewichtet und auf deren Basis verschiedene Konzepte erstellt. Weiterführend wurde das Konzept ausgewählt, dass die gestellten Anforderungen am besten erfüllt. Die Wahl fiel dabei auf die Variante mit austauschbaren Reservoirs, um die vorhandene Partikelmenge soweit wie möglich zu erhöhen. Für dieses Konzept wurden nachfolgend die einzelnen Komponenten in CAD konstruiert und die elementaren Komponenten des Kopplungssystems für eine Funktionsprüfung gefertigt. Zudem wurde eine neue Antriebsspule berechnet und deren Parameter festgelegt. Der letzte Abschnitt der Arbeit beschäftigt sich mit einem umgebauten Dispensor, welcher an die neue Kammergeometrie angepasst wurde. Dieser verfügt über ein vergrößertes Reservoir und eine verlängerte Antriebstange. Durch Tests hat sich herausgestellt, dass für dessen Inbetriebnahme die Neuauslegung der Antriebsspule erforderlich ist. Außerdem wurden verschiedene Untersuchungen an den vorhandenen Dispensoren durchgeführt, um die Grenzwerte zur Ansteuerung der Dispensoren zu ermitteln.

## 11. Fazit und Zusammenfassung

### 11.2. Fazit

Durch die Masterarbeit wurden die Vorarbeiten zur Fertigung eines auf die neue Vakuumkammer zugeschnittenen Dispensors geleistet. Hierzu wurde ein entsprechendes CAD-Modell erstellt und ein Großteil der entscheidenden Systeme konstruiert. Ausgenommen davon sind eine finale Fassung des Gehäuses und die Erstellung eines Systems zur Ansteuerung des Magazins. Der neue Dispensor wurde so konstruiert, dass er sowohl unter den Bedingungen im Vakuum, sowie unter Schwerelosigkeit einsetzbar ist, um so den Einsatz auf der Internationalen Raumstation möglich zu machen. Die wichtigste Veränderung gegenüber der bisher verwendeten Dispensoren, ist die Vergrößerung der zur Verfügung stehenden Partikelmenge durch die Verwendung einer Vielzahl von Reservoirs. Hierdurch wurde das Volumen zur Lagerung von Partikeln von  $393\text{mm}^3$  auf  $9817\text{ mm}^3$  pro Dispensor erhöht, wodurch eine größere Anzahl an Experimenten ermöglicht wird. Zusätzlich erlaubt das neue System den Einsatz einer größeren Anzahl an unterschiedlichen Partikelsorten pro Dispensor.

## Literaturverzeichnis

- Dr. Hubertus Thomas. (2016). *PlasmaLap/EkoPlasma: Investigation of complex plasmas in the Zyflexchamber as preparation for the research on the ISS*.
- DLR Plasmaforschung: Labor auf dem Weg zur ISS*. (2018, 02 22). Retrieved from [http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151\\_read-11936/#/gallery/16986](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-11936/#/gallery/16986)
- DLR-Forschungsgruppe Komplexe Plasmen*. (2018, 02 22). Retrieved from <http://complex-plasmas.dlr.de/index.php/pk-4.html>
- Faltblatt: Die gesetzlichen Einheiten in Deutschland*. (Juni 2015). Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin, Nationales Metrologieinstitut.
- International Organization for Standardisation, (Hrsg.). (August 2017). *ISO 3669:2017 - Vacuumtechnology - Bakeable flanges - Dimension of knife-edge flanges*.
- Jobst H. Kerse und 7 Mitautoren. (2003). *Vakuumtechnik in der industriellen Praxis (=Kontakt & Studium Bd. 204).3 völlig überarbeitete und erweiterte Auflage*. Renningen: Expert Verlag.
- Moineau, R. J. (27.12.1932). *Patent No. US1892217A*. USA.
- Petteri Aimonen. (2009, 10 18). Progressive cavity pump animation.
- Wijdeven Inductive Solutions BV. (2018, 03 06). *www.wijdeven.com*. Retrieved from <http://www.wijdeven.com/de/orthozyklische-spulen-luftspulen/3/69/20>
- www.microparticles.de*. (2018, 02 22). Retrieved from <http://microparticles.de/produktpalette>
- www.microparticles.de*. (2018, 02 22). Retrieved from <http://microparticles.de/eigenschaften>
- www.steinle-pumpen.de*. (2018, 02 22). Retrieved from <https://www.steinle-pumpen.de/produkte/schlauchpumpen/>

## Selbstständigkeitserklärung

### Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Hilfe verfasst und keine anderen Hilfsmittel als angegeben verwendet habe. Insbesondere versichere ich, dass alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken gekennzeichnet sind.

**Ort**

**Datum**

**Unterschrift**

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schnitt durch eine orthozyklische Spulenwicklung.....	3
Abbildung 2 PK-4.....	7
Abbildung 3 PK-4 im Betrieb.....	7
Abbildung 4 CAD-Konzept des Labors Ekoplasma .....	8
Abbildung 5 CAD-Modell der neuen Zyflex-Kammer .....	9
Abbildung 6 Dispensor im Querschnitt.....	11
Abbildung 7 Reservoir befüllt mit Kugeln .....	14
Abbildung 8 Reservoir befüllt mit Kugeln und Partikeln .....	14
Abbildung 9 Dispensor mit Partikelsieb .....	14
Abbildung 10 Partiekelsieb .....	14
Abbildung 11 REM-Aufnahme von MF-Partikeln .....	15
Abbildung 12 Kammeranschluss für Dispensoren .....	21
Abbildung 13 Funktionsprinzip einer Peristaltikpumpe .....	22
Abbildung 14 Spindel-Schlauchsystem .....	23
Abbildung 15 Spindel-Schlauchsystem mit Magazin .....	23
Abbildung 16 magazin des Spindel-Schlau-Systems im Schnitt.....	24
Abbildung 17 Exzeterschneckenpumpe im Schnitt.....	25
Abbildung 18 Funktionsweise Exzeterschneckenpumpe .....	26
Abbildung 19 Dispensor mit Exzeterschneckenpumpe im Schnitt .....	26
Abbildung 20 Funktionsmodell eines Antriebs mit Piezomotor .....	28
Abbildung 21 Dispensorentwurf mit Piezomotor .....	29
Abbildung 22 Prinzip zum Verändern der Partikelgröße .....	30
Abbildung 23 Konzeptbild eines Dispensors mit austauschbaren reservoirs.....	31
Abbildung 24 Drehung des Magazins.....	32
Abbildung 25 Einfahren des Magazins in die Vakuumkammer.....	32
Abbildung 26 Übersicht der Dispensorvarianten.....	33
Abbildung 27 Schnitt durch das Kopplungssystem.....	40
Abbildung 28 Teilebezeichnung der einzelnen Koponenten .....	41
Abbildung 29 Verbindung zwischen dem Führungselement und dem Reservoir.....	41
Abbildung 30 Einschub zur Endlage in die Plasmakammer.....	42
Abbildung 31 Teleskopvorrichtung im Schnitt.....	43
Abbildung 32 Ausfahren der Gewindespindel.....	43
Abbildung 33 Kopplungsvorgang.....	44
Abbildung 34 Reservoir mit gekoppelter Gewindespindel.....	44
Abbildung 35 Führung des reservoirs im Schnitt .....	45
Abbildung 36 Schnittansicht der wesentlichen Teile Des Anriebes .....	46

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 37 Vollständiger Antrieb mit Reservoir.....	47
Abbildung 38 Detailansicht Federhalterung .....	48
Abbildung 39 Spule und Eisenkern.....	49
Abbildung 40 Darstellung des Magnetfeld der Spule und der wirkenden Kraft .....	50
Abbildung 41 Schnitt durch eine orthozyklische Wicklung.....	53
Abbildung 42 Ermittlung des Füllfaktors .....	54
Abbildung 43 Spulendimensionierung .....	55
Abbildung 44 Magazin-Baugruppe .....	58
Abbildung 45 Bohrung zur Lagerung von Reservoirs .....	59
Abbildung 46 Reservoir .....	59
Abbildung 47 Magnetfeldmessung .....	60
Abbildung 48 Ergebnisse der Magnetflussmessung.....	60
Abbildung 49 Magnetfeldschirmung mittels Nickelblech .....	61
Abbildung 50 Magnetfeldmessung mit Abschirmung.....	61
Abbildung 51 CAD-Konzept der Gehäusekomponenten.....	62
Abbildung 52 Antrieb mit Spulenhalterung.....	63
Abbildung 53 Dispensor mit offenen Gehäuse .....	63
Abbildung 54 Dispensor mit geschlossenen Gehäuse .....	64
Abbildung 55 Steckerposition .....	64
Abbildung 56 Chamber-Injection-Connector.....	64
Abbildung 57 Chamber Injection Connector mit unterschiedlichen Dispensorvarianten .....	65
Abbildung 58 Dispensor im Schnitt.....	65
Abbildung 59 Vergleich alter und neuer Dispensorkopf .....	66
Abbildung 60 Versuchsaufbau .....	67
Abbildung 61 Plasmakammer Innenansicht.....	68
Abbildung 62 Eingebauter Dispensor .....	68
Abbildung 63 Vakuumkammer mit eingeschalteten Laser und Plasma .....	69
Abbildung 64 Neue und Alte Dispensorkopfaufnahme .....	69
Abbildung 65 Vergleich zwischen ursprünglichen und angepassten Dispensor .....	69
Abbildung 66 Versuchsaufbau „Bewegungseigenschaften“.....	70
Abbildung 67 Dispensor in Ausgangslage .....	71
Abbildung 68 Dispensor gespannt.....	71
Abbildung 69 Signaldarstellung .....	72
Abbildung 70 Versuche mit verschiedenen On-Time Varianten .....	73
Abbildung 71 Versuch mit 40ms – 19ms .....	73
Abbildung 72 Messschaltung.....	74
Abbildung 73 Versuch mit 40ms/20ms .....	75
Abbildung 74 Messschaltung mit Diode.....	76

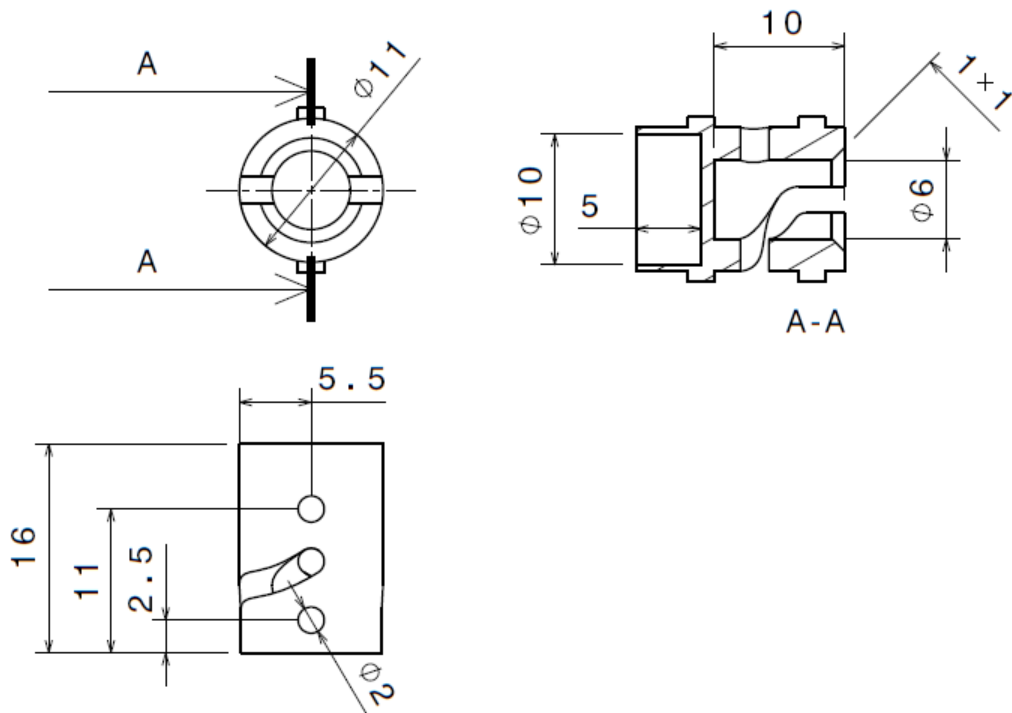
Abbildung 75 Versuch mit 40ms/20ms und nachgerüsteter Diode .....	76
Abbildung 76 Versuch mit 40ms/25ms und nachgerüsteter Diode .....	77
Abbildung 77 versuch mit Einzelschusss von 80ms/20ms .....	78
Abbildung 78 Dispensor ohne Eisenkern.....	78
Abbildung 79 Dispensor mit Eisenkern.....	79
Abbildung 80 Dispensor ohne Eisenkern mit mehrfach Impulsen.....	79
Abbildung 81 Grenzbereich der Impulsfolge.....	80

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Abkürzungsverzeichnis .....	VII
Tabelle 2 Einheitenverzeichnis .....	VIII
Tabelle 3 Eigenschaften MF-Partikel.....	15
Tabelle 4 Wichtung der Verbesserungen.....	17
Tabelle 5 Wichtung der konstruktiven Bedingungen.....	20
Tabelle 6 Vor- und Nachteile des Spindel-Schlauch-Systems.....	25
Tabelle 7 Vor- und Nachteile der Exenterschneckenpumpe.....	27
Tabelle 8 Eigenschaften Piezomotor LR50.....	28
Tabelle 9 Vor- und Nachteile eines Piezomotors als alternativen Antrieb .....	29
Tabelle 10 Vor- und Nachteile der Verwendung eines Partikelgitters mit verschiedenen Lochgrößen .....	30
Tabelle 11 Vor- und nachteile des Dispensors mit austauschbaren Reservoirs .....	33
Tabelle 12 Vergleich Dispensorkonzepte .....	38
Tabelle 13 Vor-/Nachteile der Kopplung mittels Einrastelementen.....	42
Tabelle 14 Vor- und Nachteile der Kopplung mittels Bajonettverschluss.....	45
Tabelle 15 Federkraft Übersicht .....	55
Tabelle 16 Spulendimensionierung .....	57
Tabelle 17 Technische Werte der Spule.....	58



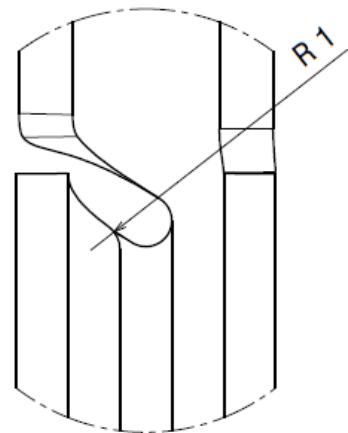
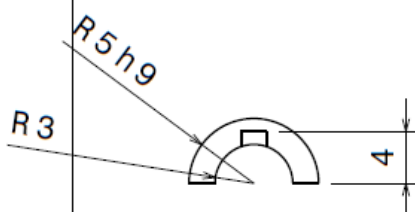
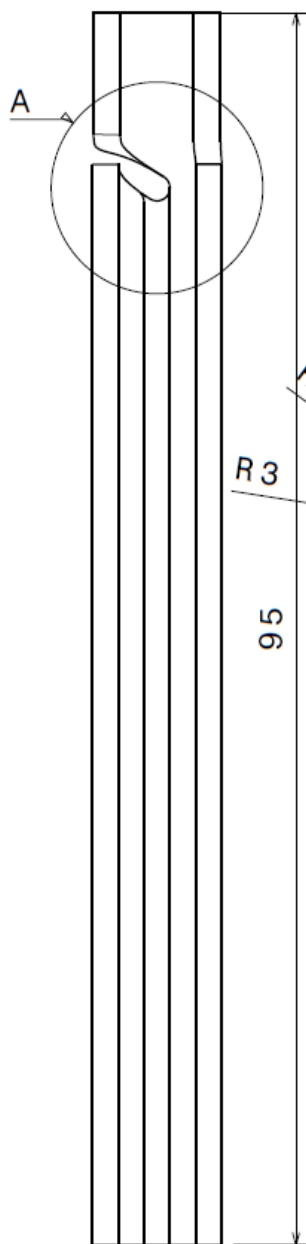




Teil-Nr.: 0001		Stückzahl: 1		Maße ohne Toleranzangabe nach DIN ISO 2768 - m H		Oberflächen nach DIN ISO 1302		Werkstoff Material-Nr. Aluminium		Gewicht	
				Datum		Name		Benennung Dispensor		Maßstab 2:1	
				Gezeichnet 07.12.2017		Steinfeld		Reservoir			
				Konstruiert 05.12.2017		Steinfeld					
				Geprüft							
				Genehmigt							
				 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft		Zeichnungsnummer: 002-0007-0001-C1A-2017					
Index		Datum		Änderung		Name		Ersatz für		Erstellt aus	
ISO/E						Systemhaus Technik, Region Nord Standort Braunschweig		Handschriftl. Änderung bzw. Eintragung auf der Zeichnung <input type="checkbox"/>		SmartTeam Stand Blatt 01 von 01	

ÄNDERUNGEN SIND NUR ÜBER CAD-CATIA ZULÄSSIG!

CATIA V5R18 - Zeichnung Format A 4



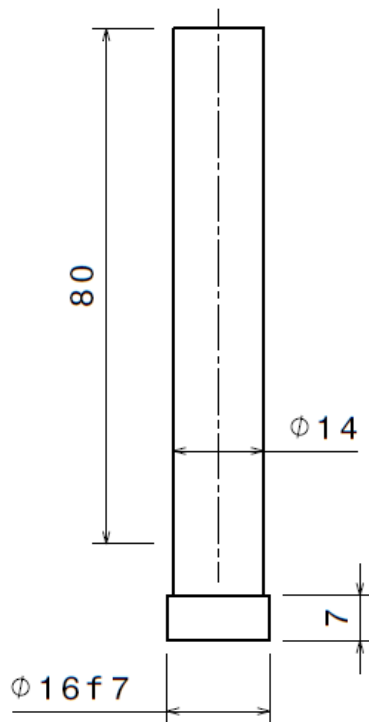
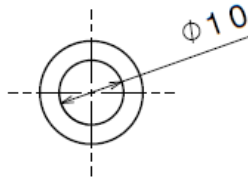
Detail A  
Maßstab: 4:1

Teil-Nr.: 0002		Stückzahl: 2		Maße ohne Toleranzangabe nach DIN ISO 2768 - m H		Oberflächen nach DIN ISO 1302		Werkstoff Aluminium		Gewicht	
Datum		Name		Benennung		Maßstab		Antriebsführung		2:1	
Gezeichnet 05.12.2017 Steinfeld		Konstruiert 05.12.2017 Steinfeld		Geprüft		Genehmigt		Zeichnungsnummer: 002-0007-0002-C1A-2017			
Index		Datum		Änderung		Name		Ersatz für		Erstellt aus	
ISO/E		Dashed circle symbol		Systemhaus Technik, Region Nord Standort Braunschweig		Handschriftl. Änderung bzw. Eintragung auf der Zeichnung		SmarTeam Stand		Blatt 01 von 01	

Schutzwort:  
Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Dokumente, Verwertung und Mitteilung seines Inhaltes sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmackszeichnungsrechte vorbehalten.

ÄNDERUNGEN SIND NUR ÜBER CAD-CATIA ZULÄSSIG!

CATIA V5R18 - Zeichnung Format A 4

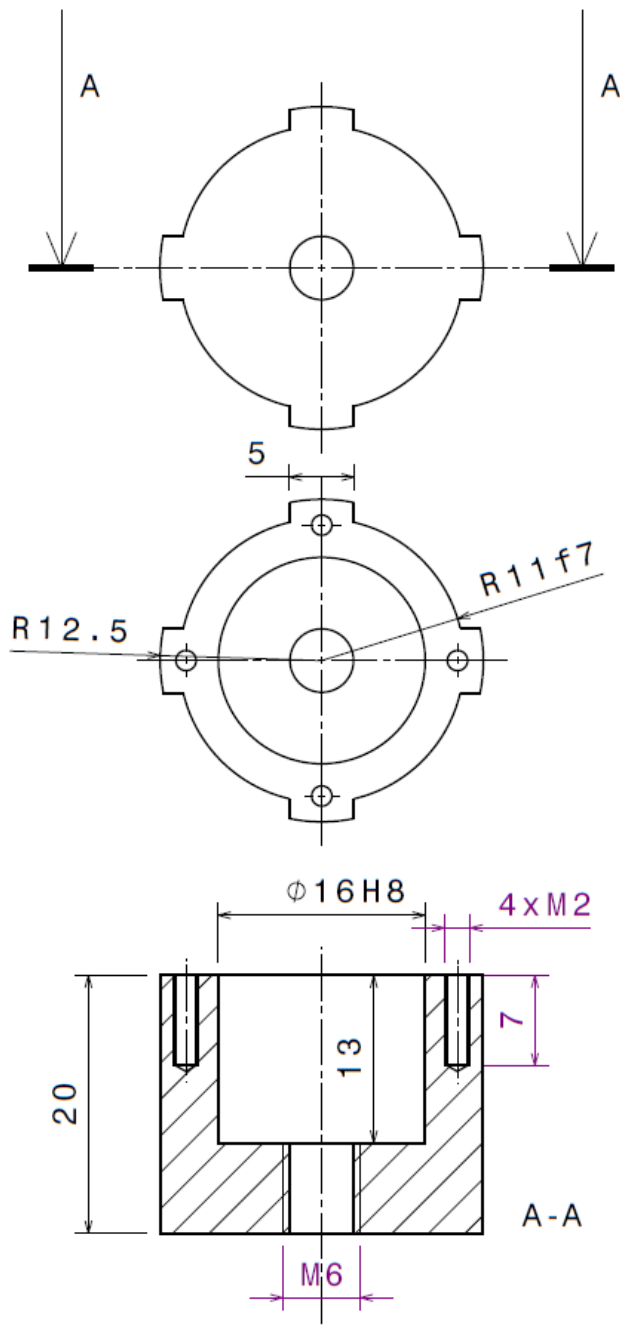


<b>Teil-Nr.:</b> 0003		<b>Stückzahl:</b> 1	<b>Maße ohne Toleranzangabe nach DIN ISO 2768 - m H</b>	<b>Oberflächen nach DIN ISO 1302</b>	<b>Werkstoff Material-Nr.</b> Aluminium	<b>Gewicht</b>
<b>Index</b> <b>Datum</b> <b>Änderung</b> <b>Name</b>			<b>Gezeichnet</b> 05.12.2017 Steinfeld <b>Konstruiert</b> 05.12.2017 Steinfeld <b>Geprüft</b> <b>Genehmigt</b>		<b>Benennung</b> Dispensor  <b>Antriebsstange</b>  <b>Zeichnungsnummer:</b> 002-0007-0003-C1A-2017 <b>Ersatz für</b> <b>Erstellt aus</b>	
<b>ISO/E</b>			<b>DLR</b> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft Systemhaus Technik, Region Nord Standort Braunschweig		<b>Blatt 01 von 01</b>	

ÄNDERUNGEN SIND NUR ÜBER CAD-CATIA ZULÄSSIG!

CATIA V5R18 - Zeichnung Format A 4

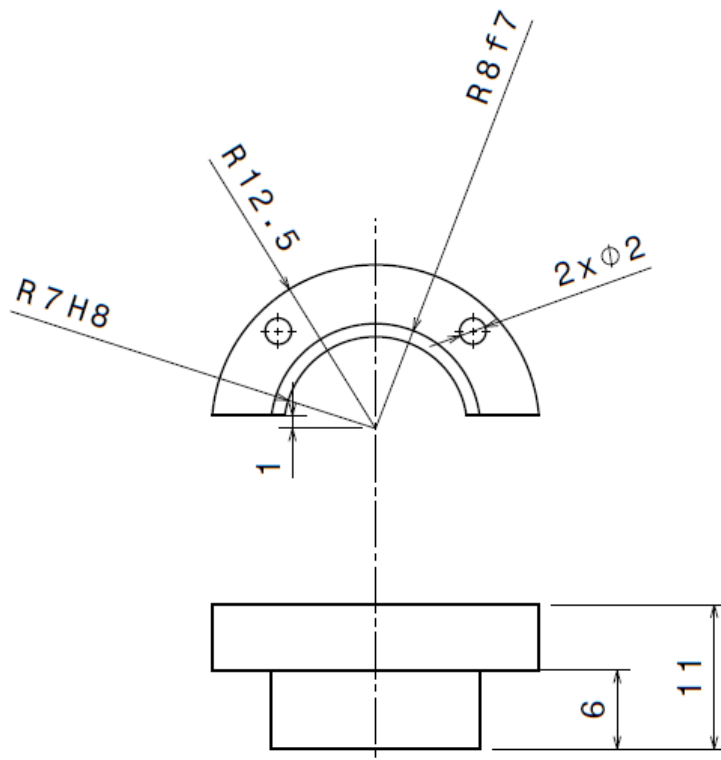
Schutzvermerk:  
Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhaltes sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmackschutzverletzung vorbehalten.



Teil-Nr.: 0005		Stückzahl: 1		Maße ohne Toleranzangabe nach DIN ISO 2768 - m H		Oberflächen nach DIN ISO 1302		Werkstoff Aluminium		Gewicht	
						Datum		Name		Benennung	
				Gezeichnet		05.12.2017		Steinfeld		Dispenser	
				Konstruiert		05.12.2017		Steinfeld		002-0007-0001-Z1A-2017-Antrieb	
				Geprüft						Läufer	
				Genehmigt							
										Maßstab	
										2:1	

ÄNDERUNGEN SIND NUR ÜBER CAD-CATIA ZULÄSSIG!

CATIA V5R18-Zeichnung Format A 4



Teil-Nr.: 0006		Stückzahl: 2		Maße ohne Toleranzangabe nach DIN ISO 2768 - m H		Oberflächen nach DIN ISO 1302		Werkstoff Aluminium			
				Datum		Name		Benennung		Maßstab	
				05.12.2017		Steinfeld		Dispensor		2:1	
				05.12.2017		Steinfeld		Halterung			
								Zeichnungsnummer:			
								002-0007-0006-C1A-2017			
Index		Datum		Änderung		Name		Ersatz für		Erstellt aus	
ISO/E								Handschriftl. Änderung bzw. Eintragung auf der Zeichnung		Blatt 01 von 01	

ÄNDERUNGEN SIND NUR ÜBER CAD-CATIA ZULÄSSIG!

CATIA V5R18 - Zeichnung Format A 4

**Motordaten:** DCX 19S EBCLL SL 12 V**Motordaten****Werte bei Nennspannung**

Nennspannung	12 V
Leerlaufdrehzahl	6340 min <sup>-1</sup>
Leerlaufstrom	30.2 mA
Nenn-drehzahl	4490 min <sup>-1</sup>
Nennmoment (max. Dauerdrehmoment)	11 mNm
Nennstrom (max. Dauerbelastungsstrom)	0.644 A
Anhaltemoment	38 mNm
Anlaufstrom	2.13 A
Max. Wirkungsgrad	78 %

**Kenn-daten**

Anschlusswiderstand	5.63 Ω
Anschlussinduktivität	0.329 mH
Drehmomentkonstante	17.8 mNm/A
Drehzahlkonstante	536 min <sup>-1</sup> /V
Kennliniensteigung	169 min <sup>-1</sup> /mNm
Mechanische Anlaufkonstante	4.88 ms
Rotorträgheitsmoment	2.75 gcm <sup>2</sup>

**Thermische Daten**

Therm. Widerstand Gehäuse-Luft	17.6 K/W
Therm. Widerstand Wicklung-Gehäuse	6.5 K/W
Therm. Zeitkonstante der Wicklung	11.6 s
Therm. Zeitkonstante des Motors	312 s
Umgebungstemperatur	-30...+85 °C
Max. Wicklungstemperatur	+100 °C

**Mechanische Daten**

Lagerart	Sinterlager
Grenzdrehzahl	7500 min <sup>-1</sup>
Axialspiel	0 - 0.2 mm
Radialspiel	0.02 mm
Max. axiale Belastung (dynamisch)	0.1 N
Max. axiale Aufpresskraft (statisch)	80 N
(statisch, Welle abgestützt)	440 N
Max. radiale Belastung	2.5 N, 5 mm ab Flansch

**Weitere Spezifikationen**

Polpaarzahl	1
Anzahl Kollektorsegmente	9
Anzahl Sterilisationszyklen	0

**Produkt**

Gewicht	50 g
---------	------